潘品英　编著

中小型电动机修理

结构／绕组／重绕／工艺／检验／修理



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中小型电动机修理

（结构·绕组·重绕·工艺·检验·修理）

潘品英　编著



机　械　工　业　出　版　社

本书是为中小企业及维修站从事电修的人员，进一步提高修理技术而编写的自学读本。全书分六章，内容包括三相电动机、单相及家用电动机、换向器式电动机、变极及电梯电动机等的典型故障及重绕修理。书中详细介绍电动机的绕组型式、构成原理和结构特征；对电机重绕的工艺程序、修理材料及绝缘制作等都进行详细叙述；特别对修理质量的检验、要求、试验及重绕后的性能调整关系都作了重点分析。此外，还采用端面模拟画法，特选国产新系列电动机实用绕组，绘制成典型范例布接线图55例，并与附录中各电机参数的表格相对应，便于读者参考应用。

本书是从事电机修理人员的工具书和自学用书，也适用作技术培训教材，或供技校及大中院校有关专业师生作为实践参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

中小型电动机修理/潘品英编著. —北京：机械工业出版社，2004.4

ISBN 7-111-14040-0

Ⅰ.中… Ⅱ.潘… Ⅲ.电机—维修 Ⅳ.TM307

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第012712号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑：李振标　　版式设计：冉晓华

责任校对：张晓蓉　　封面设计：姚　毅

责任印制：施　红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004年5月第1版第1次印刷

850mm×1168mm 1/32·15.875印张·2插页·423千字

0 001—4 000册

定价：30.00元

前　言

中小型电机是工农业生产和现代生活中使用最普遍的电机品种，随着使用量增加，其维修和重绕工作量也随之日增，使电机修理行业也不断发展扩大，但行业竞争则日趋激烈。而电修行业的发展有赖于诚信，其生存的关键则以修理质量为支持，因此，修理人员自身技术素质是提高电修质量亟需解决的现实问题。但就目前现状，除少数大企业的电修工作配备专职技术人员外，对星罗棋布的修理点尚缺技术指导，修理过程多未进行相应的检查试验，操作工艺仍停留在初级阶段，修理质量难以确保。然而，近年出版的电修图书虽多，但介绍重绕工艺、检验内容者较少，为此，本书着重于电机重绕的规范操作和质量检验，是电机修理者作为提高技术的自学读本。

本书内容包括机械故障修理，三相、单相、变极及换向器式电动机绕组的型式、构成、特征以及拆线重绕工艺、检验等。为适应多速电动机在民用设施越来越多的应用，书中对变极绕组重点关注，并改变以往各书立足于变速改制，而从修理重绕接线的角度进行介绍。另外，绕组是电机的重要部分，是重绕修理的关键所在，因型式繁多，且各具特点，故用较大篇幅讲述；同时，由于国产新系列的绕组选型科学合理，虽其技术性能未必最优，但综合性能则是先进的。为此，书中以国产三相、变极及单相等新系列为典型范例，并采用作者独创的端面模拟画法，绘制成绕组布线接线图共55例，供读者修理时参考。附录收入新系列各种中小型电动机重绕数据，表中还附注绕组参考图例，并与典型范例相对应，更利于实用。

本书编写过程得到招才万、潘玉景、田水和、米日京等同志协助，特表感谢。

由于作者水平有限，书中不足在所难免，敬请广大读者批评指正。

潘品英

2004年1月于韶关

目　　录

第一章　电动机的结构及修理

第一节　电动机的定子结构及修理

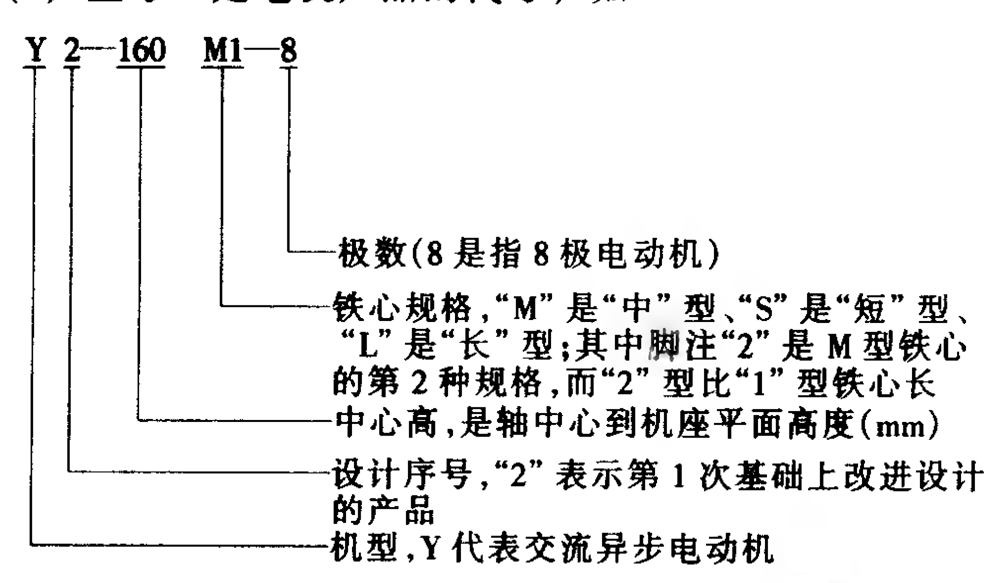
三相异步电动机具有结构简单、价格低廉、运行可靠、使用及维修方便等特点。其中小型电动机应用极广，是工农业生产机械主要的动力设备。

目前，我国除 Y、Y2 系列之外，已派生出一系列标准产品和专用产品，就结构而言，三相异步电动机具有典型特点，所以，下面就一般用途电动机进行介绍。

一、电动机铭牌

铭牌一般装置在电动机外壳正面的显著位置，它简要地提供电机的主要技术数据，是使用和修理的基本依据。其意义说明如下：

(1) 型号　是电机产品的代号，如



(2) 功率　表示在额定条件(电压、电流)下输出的机械功率(kW 或 W)。

(3) 电流　额定输出条件下电动机的线电流(A)。

(4) 电压　是指电动机工作时的线电压(V)。

(5) 接法　三相电动机有Y形和△形两种接法，但定子绕组采用的接法应与铭牌规定的接法相符，以保证与额定电压相适应。

(6) 转速　是指电动机在额定负载运行时的转速(r/min)。

(7) 频率　表示电动机使用交流电源的频率，我国电网 $f=50Hz$，一般铭牌可不标示。

(8) 绝缘等级　有时也用温升来表示，它是按电动机绕组绝缘材料的耐热性能来确定的绝缘等级，如表1-1所示。

表1-1　电动机绝缘等级的工作温度

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
工作极限温度/℃	90	105	120	130	155	180	>180
温升/℃	50	60	75	80	100	125	

注：表中温升系采用电阻法测温标准。

(9) 定额　即工作条件。一般分：

连续工作——长时间运行，也有用负载持续率 FC = 100% 表示。

断续工作——间断使用，并以工作时间占周期(10min)的百分比表示，如 FC = 25%、FC = 40% 等。

短时工作——表示只能在限定时间内运行，其余时间长期停用；标准规定为10、30、60和90min四种。

二、机座结构及修理

机座是承置电动机定子铁心的桶形外壳，一般由铸铁、铸钢制成，小电机还可用铝制外壳。根据不同工作环境，外壳可设计成开启式、防护式和封闭式，Y系列小型电动机则属封闭式结构，其外壳表面铸有导流散热突筋；下部有底脚，是电动机的支承和固定部分。由于小型电机机座各部位尺寸较薄、强度较低，在搬运、拆卸及装配过程中容易造成损坏，常见的故障及处理方

法有：

1. 外壳裂纹的修补

一般由于撞击致裂，如果裂纹数多于2条或纹路通断(即裂纹在外壳轴向全裂或沿周环裂)则不宜修补，必须更换机座。若裂纹长度不超过工件结构长度的一半时，可采用下列方法进行修补。

(1) 铸铁机壳焊补工艺

1) 钻孔止裂　在裂纹终端钻一 $\phi3\sim\phi6$mm 小孔，钻孔深度超过裂纹深度，但不要钻穿，以防止裂纹延伸；

2) 沿纹开槽　用钢凿沿表面纹路开凿出深度约 3~8mm（视工件厚度而定)的“V”形槽；

3) 焊接　用铜质电焊条将V形槽焊补丰满。焊接时先将裂纹开断点固定焊牢，再在裂纹中间段焊上数点，然后才从裂纹终点的V形槽开始沿槽焊接。焊接时要将绕组遮盖好，以防金属熔粒溅落而损坏绕组。

由于铸铁材料成分不同，有时会因焊接而使裂纹扩延，故其修复效果不稳定。

(2) 粘结修补法

1) 钻孔止裂　(方法同上)

2) 锉削表层　用圆锉或圆头推铲沿裂纹表层将金属氧化层铲去，再把铲沟两侧清刮干净；

3) 清洗油污　用柴油(或煤油)把铲沟清洗一遍，除去油垢和杂物，再用丙酮(也可用 LT-755 表面清洁剂)洗去沟内外的油渍，待清洁剂完全挥发；

4) 涂抹粘合剂　采用渗透性好、机械强度高及粘结度高的粘合剂进行粘合，如

① 铁锚 350 粘合　将其从终端开始涂抹在铲沟及裂纹上，刷完后再重新涂刷，连续涂刷 3~5 次，然后在 120℃温度下烘焙 8h，使其粘结固化。

② LT-415 快干胶粘合　将其涂在铲沟及裂纹上，连续刷 3

~4 次后，在室温下固化 24h。

采用粘合剂修补具有渗透性好、粘结速度快、密封性能好、粘结强度高，且具有耐水、耐油、耐振动等优点。是目前推广应用的修理工艺。

2. 机壳端口磨损变形的修理

定子机壳端口与端盖的配合要求既可卸、又紧密，从而保证定、转子的同心度。如端盖变形或磨损松动，就使气隙不均匀而造成电动机振动和噪声，严重时发生定、转子相擦的“扫膛”故障。修理方法有：

（1）缩端修理法　检查绕组端部与端盖的轴向距离，如有足够的空间，将定子上车床“找正”后，把磨损的外壳端口车去1/2~2/3 止口长度(在端盖止口上测量)，然后参考表 1-2 配合公差进行加工止口内径(止口长度应大于端盖止口长度)。此外，还须将加工端转子轴的轴承档位车进去相应的长度，使转子轴承档与端盖轴承室档位保持原有的轴向配合。

表 1-2　电动机端盖止口配合公差参考值　　(mm)

止口直径	300	500	800	1000
配合间隙	0.04~0.05	0.08~0.10	0.12~0.15	0.18~0.21

（2）配接阴阳套　如果定子绕组端部与端盖没有多余的空间，则可采用此法修理，其工序如下：

1）先将定子在车床上找正后，车去损坏的端口约两倍止口长度 L；

2）在端口内径车出长度略大于 H 的止口尺寸 ϕA后，取下工件；

3）按图 1-1 形状及相应的配合尺寸车制阴阳钢套；

4）将车好的阴阳套压入定子端口结合部即可。

3. 机座底脚断裂的修理

电动机安装不平是造成底脚断裂的主要原因。而电动机底脚是受力的支承部位，铸铁焊接的质量很难满足正常的使用要求，所以

推荐采用如下加衬粘合修理工艺：

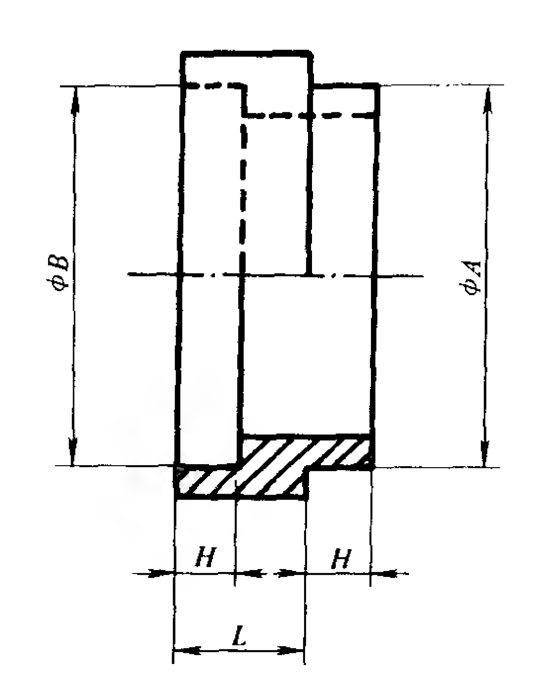


图 1-1 止口配合阴阳套

φA—与缩短后新车削的外壳端口配合部位 φB—与原端盖止口配合部位 H—原配止口长度 L—车去外壳配合端口长度

(1) 将底脚断裂部分与断纹密切接合，如图 1-2 所示。用厚度约为 3～6mm 的钢板做一块固定衬板(见图)，其形状要视断裂底脚的具体情况而定，但一般应包持能连接平面的断裂部分和未断的基准部分；能连接侧面断裂和未断基准部分；以及平面的转角定位面部分，使之紧密包持底脚。

(2) 将底脚上平面、转角面和侧面等被包持部分的油漆及杂物清除干净后，把衬板夹持在断脚相应部位(如图)，并调整使其紧密贴合，再在各面上适当位置钻出螺纹坯孔，然后取下衬板后在电机上的孔处攻制螺纹。

(3) 将衬板与底脚用螺钉固定后，检查裂纹衔接应密合，如位置不正，则进行调整到正确为止。

(4) 卸下衬板，将电机底脚与衬板接触部位和断口表面及衬板内侧各面用清洁剂洗干净后晾干。

(5) 将电机放在平台上，用 LT-660 机械零件固持胶涂抹在底脚断口两面，并将其密合，在室温下固化 12h。

(6) 清除缝口多余的固持胶，将衬板和底脚接合面上涂刷 LT-660 固持胶，并用螺钉装配固定好。10min 钟后卸下一个螺钉，在换上的埋头螺钉上涂抹 LT-660 固持胶后旋入原位拧紧，逐一进行更换。

(7) 完成后固化 12h，再将埋头螺钉突出部分锉平后即可使用。

4. 机座端盖螺孔滑扣的修理

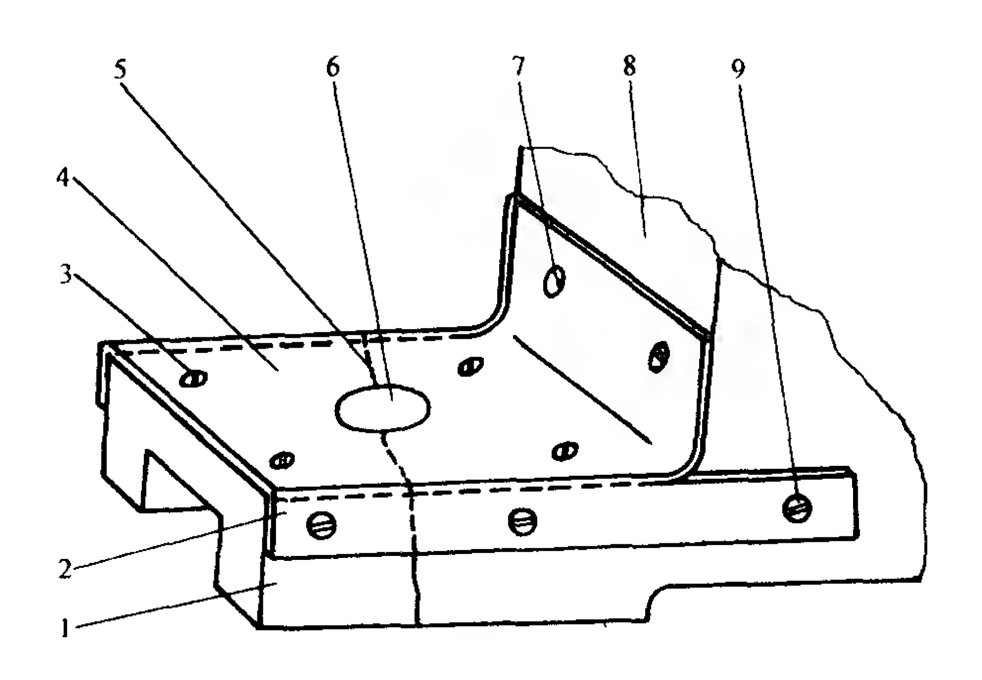


图 1-2 底脚断裂的修理

1—底脚侧面 2—衬板侧面 3—衬板平面埋头螺钉 4—衬板平面
5—断裂纹路 6—电机底脚孔 7—转角直面衬板及埋头螺钉
8—底脚转角面 9—衬板侧面埋头螺钉

螺纹滑扣是电动机常见故障，处理办法有：

(1) 改大螺栓法 用大一号螺纹坯径的钻头将滑扣的螺孔扩孔(坯径 = 螺栓外径 - 螺距)，然后用丝锥攻制螺纹，还要把端盖上该孔扩钻，使新螺钉能穿入即可。

这种方法要削弱端盖压紧强度，故只适用于孔沿较宽的端盖，否则无法扩孔。

(2) 加深螺孔法 如果机座端盖螺孔部位为实心时，可用该螺纹坯经钻头把螺孔钻深，再用丝锥加深螺纹，然后改用长螺钉即可。

(3) 双头串紧法 若机座端盖螺孔部位是空心结构而无法将螺孔加深时，可从两端钻穿，然后用一根长螺杆把两边端盖串通起来，再用螺母在一边锁固。

(4) 粘固法

1) 按正常工序把电动机装配好；

2) 卸下滑扣的螺钉(如原螺钉有磨损则最好换上同规格的新

螺钉)，根据螺钉直径选用LT-200系列的厌氧型螺纹锁固剂，分别涂抹在螺孔及螺杆上；

3）将螺钉旋入螺孔，用扳手慢慢把端盖压紧，但用力不宜过猛，并注意控制拧紧程度在滑扣之前停止扳动。

4）在室温下固化(根据选用锁固剂确定固化时间)后，便可试车使用。

这种方法的特点是操作简便，但固化时间较长，且再拆卸容易造成原胶崩裂，这时必须重新进行粘固操作。

三、定子铁心的故障修理

1. 定子铁心与机壳间松动位移

定子铁心松动是制造工艺不良造成的，位移后电动机会产生振动和噪声；定、转子轴向错位则使有效气隙面积减少，电动机电流增大且出力减小。若铁心转动，严重时便将定子出线拉断。处理方法有：

(1) 螺钉定位法

1）检查并校正定子铁心与转子铁心对齐；

2）在定子铁心中段部位的外壳上确定对称的四点，并用手锤在两对称点上轮流敲打，以使铁心配合紧密，但用力不要过猛，以免敲碎外壳；

3）在铁心中段外壳未经敲打的四点对称部位钻出M10～M14，螺钉定位坯孔，深度视轭厚而定，一般约为8～12mm，然后进行攻螺纹；

4）取一端锯“一”字口的全扣无头螺杆，截长度为旋入后与外壳齐平为宜；

5）将螺钉经丙酮清洗晾干，用GY-240型厌氧粘结剂(或LT-277螺纹锁固剂)分别涂抹在内外螺纹上，对称同步拧入定位孔；

6）用定位螺钉调整定子铁心，检查无偏心现象，则待固化后便可使用。

这种方法适用于铸钢或铝质外壳的电动机。

(2) 焊接固定法　先检查并调整定子铁心，使其处于无偏心

状态，然后用电焊将铁心压圈(或铁心外圈)与机座点焊牢固即可。

(3) 粘结固定法

1) 检查并校正定子铁心位置正确后，做好记号或测量铁心退出端的压入深度，然后拆开绕组引出线；

2) 将电机立置于压床上，用一外径略小于电机外壳内径的钢套压住铁心(其厚度以不碰到绕组为宜)，将铁心压迫退出；

3) 将铁心外圆和外壳内圆清洁干净后，用 LT-660 圆柱形零件固持胶均匀涂抹在接触表面；

4) 定子沿退出端重新压入到正确位置，待其固化(12h)后便可使用。

2. 槽齿歪斜的修理

槽齿变形是拆线方法不当造成的，若歪斜的槽齿在端口，可用尖嘴钳修正复原；若在铁心中间，则用一块薄钢板，一端磨平直，从槽口伸到移位的槽齿，钢板的槽外端用小锤轻敲，从齿的根部逐渐修向槽口，可将其复位。

3. 铁心槽端口松弛的修理

如果端口个别槽齿外张松弛，可用小锤敲平复位。若松弛的槽齿较多，则把外张片间清理干净，用两块厚度约为 10～16mm 的钢板，做成外径略大于槽底部的圆压板，中心开孔穿入双头螺杆，可将其夹紧复原。如仍不能恢复，则卸开压板后将外张的槽齿间涂刷 LT-325 厌氧型粘结胶，然后再压紧，待固化后卸开即可复原。

4. 铁心槽端口钢片缺损的处理

用平凿法截线不当将造成槽端口钢片缺损。如果是个别槽齿损坏，一般只需敲正或将严重损坏的齿剪除即可。若损坏槽齿较多，则要把铁心端头的扣片解开，将破损的冲片取出，然后再把扣片压紧。但此法只能处理一次，取去的冲片过多则会使电动机容量降低。

5. 铁心短路故障的修理

定子铁心与转子相擦产生高温会造成铁心局部短路；槽内导线发生短路则可能使槽内铁心形成烧结短路。铁心片间短路故障严重时产生涡流引起局部过热，最终把绝缘损坏而烧毁绕组。对小型电动机，一般都是在重绕修理时拆除绕组后进行，其故障修理如下：

（1）铁心表面片间短路的处理

1）将硝酸溶液稀释到37%浓度；

2）在相擦部位的整片光滑面上用手提砂轮(或粗砂布)顺叠片纹路轻度打磨，使之略可看出片间纹路；

3）用压缩空气吹扫干净；

4）用毛刷蘸上原配好的硝酸溶液涂刷到铁心短路部位，待铁心表面呈现深褐色生成物后，再用清水将其抹掉；

5）用空气吹干后再涂刷硝酸溶液，如此反复多次，使片间短路毛刺被腐蚀消除而呈现出清晰的片间纹路为止；

6）最后用清水洗刷、吹干后，用1611号绝缘漆涂抹在铁心表面，干后即可。

但必须注意，要掌握好硝酸的浓度，浓度过大或过小都影响其腐蚀质量。另外，操作时要戴好眼镜、手套及多层口罩，并在通风良好处进行。

（2）槽内烧结短路点的处理

1）用钢凿将槽内烧结块凿去，再用锉刀把槽内凸出点修整齐平；

2）将铁心杂物清除干净后，撬开齿部冲片，把稀释的绝缘漆涂刷一遍；

3）对槽底部的凹坑用环氧树脂与云母粉(或其他良好绝缘物)调和后充填；

4）待环氧树脂固化后，用锉刀修齐，并用压缩空气吹扫干净即可。

四、定子端盖的修理

端盖损坏包括局部裂纹、螺孔突缘断裂、止口松动、轴承室

磨损等。端盖局部裂纹可参考机座外壳裂纹粘结修补法，其余故障处理办法介绍如下：

1. 端盖止口松动的修理

端盖止口松动时，可将原来止口车去 1/2 ~ 2/3 长度，然后按装配尺寸公差(参考表 1-2)车进截去尺寸的止口，再把该端转子轴承档位车进相同尺寸。

2. 端盖螺孔凸缘断裂的修理

小型电动机的端盖是由三或四只螺钉来固定的，若其中一个螺孔凸缘断裂，便会使端盖受力失衡而影响定、转子的同心度，所以必须进行修理。通常的修理方法是焊接，但由于铸铁的焊接质量不够理想，其强度难以满足凸缘悬空紧固的要求。所以下面着重介绍加衬粘结法进行修理。

(1) 用丙酮或 LT-755 清洁剂将凸缘的断口清洗干净、晾干；

(2) 用铁锚 350 粘合剂或 LT-660 固持胶将凸缘断开部分按断纹对合粘结、固化；

(3) 用一块厚度约 3 ~ 6mm 的钢板做一个与端盖凸缘形状相贴切的定位包摺衬垫，如图 1-3 所示。

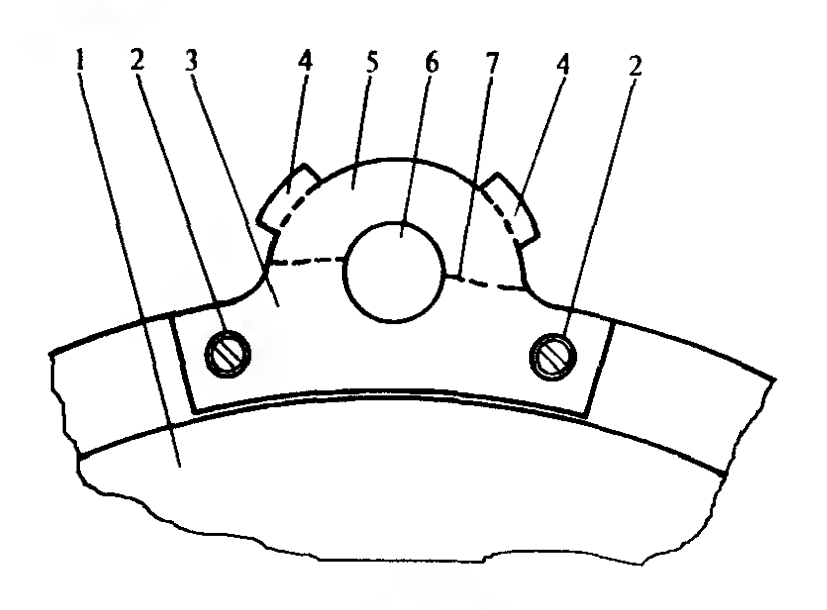


图 1-3　端盖凸缘螺孔断裂的修补

1—端盖(局部)　2—埋头螺钉　3—衬垫

4—衬垫的定位包摺边　5—凸缘断开部分

6—端盖孔　7—断裂线

(4) 衬垫平面要求与端盖凸缘部分紧密贴合，并使两个定位包摺边紧紧扣住凸缘的断开部分。定好位置后钻出埋头螺钉坯孔(螺钉视情况选用 M4～M8)，然后攻螺纹；

(5) 用清洁剂把凸缘部位及衬垫洗干净、晾干，再将 LT-660 固持胶涂抹在端盖凸缘与衬垫的接触部位(包括包摺边)，以及埋头螺钉上；

(6) 将衬垫置于凸缘正确位置，使包摺边紧扣凸缘，用埋头螺钉将其固定，然后用一与孔径相应的螺钉再通过大直径的平垫将衬垫压紧，再拧紧埋头螺钉；

(7) 固化后将埋头螺钉突出平面部分锉平，卸开压紧螺钉即可。

3. 端盖轴承室磨损的修理

电动机轴承室孔与轴承外圈的公差配合是基轴制 J7 配合精度，如果过松则轴承外圈转动，加速轴承室磨损，最后导致“扫膛”故障。在现场处理中常用冲子将轴承室内圆表面冲眼增加内圆摩擦力来阻止轴承外圈转动。此法虽简单，但只能运行一会又会重新出现原来的故障。较完善的方法是采用电镀或喷涂进行修复，但其工艺复杂，且需专用设备，只有大型的修理车间才有条件配置，故一般修理部门很难实现。下面介绍几种简单且较有效的修理方法。

(1) 镶套法　在车床上校正好后，将磨损的轴承室孔扩大 6～10mm，再车一个钢套镶入，并满足轴承外圈的公差配合。

此法工艺难度较大，且大部分小型电动机的轴承室壁较薄，车去厚度将严重削弱其结构强度，故要酌情慎用。

(2) 焊锡法

1) 用煤油或机械洗洁剂洗净轴承室后抹干，再用砂布打磨焊接表面氧化层；

2) 将焊锡膏涂抹在轴承室磨损处，用大功率的电烙铁加热后搪上一层薄焊锡，但轴承室的两端应留一圈约 3mm 长度的位置不焊锡；

3）检查焊锡层应均匀，对过薄或过厚的锡层应用电烙铁修整。冷却后再用刮刀将个别凸出点修平即可；

4）安装时可在轴承外圈上抹上一层机油装入。

此法成本低廉、操作简单方便，一般在磨损间隙小于0.3mm的小型电机中能得到较好的效果。

（3）AR-5粘接法

1）端盖上车床校正后将轴承室车扩直径约0.8～1mm，并要求车削表面粗糙，以利粘合；

2）用酒精把轴承室清洗干净，再用丙酮仔细清擦车削面；

3）将AR-5两种配用的耐磨胶粘剂，按1∶1体积比的用量，在清洁、干燥的玻璃板上调匀；

4）用塑料铲将调好的AR-5胶涂抹在轴承室的车削面上，要求厚度均匀，且不少于1mm。但涂胶时要在干燥的室内进行，以避免尘土、油污等杂物落入而影响质量。

5）在室温下固化24h后，参考表1-3配合公差进行加工配合尺寸。

表1-3　滚动轴承外套与端盖轴承室的配合公差　（mm）

轴承外径		<18	18～30	31～50	51～80	81～120	121～180	181～260	261～360
过渡配合	上偏差	+0.013	+0.016	+0.018	+0.020	+0.023	+0.027	+0.030	+0.035
	下偏差	-0.006	-0.007	-0.008	-0.010	-0.012	-0.014	-0.016	-0.018

此法用料较省，且可适用于轴承室磨损较严重的中小型电机，但工艺较复杂。

（4）LT-609胶充填法

1）按电动机正常装配工序进行，在装配端盖之前，端盖磨损的轴承室及配装的轴承外圈表面用LT-755清洁剂清洗干净；

2）将LT-609固持胶均匀涂在轴承室内圈和轴承外圈的配合面；

3）非配合面的固持胶用棉布抹去后，再用清洁剂清擦干净；

4）继续按常规装配电动机，直至完成；

5）固化6h后便可通电试车。

此法的操作工艺简便、材料成本低廉、经济实用；但其磨损间隙不宜大于0.13mm，故仅适用于小型电动机。此外，电动机再拆卸时胶层将被破坏，装配时必须重新进行胶固。

第二节　笼型转子与转轴的修理

在电动机结构中，转子故障也是比较常见的，它的故障及修复方法介绍如下。

一、电动机转子故障的修理

1. 笼型转子断条的修理

目前国产小型异步电动机转子一般均采用笼型铸铝转子，因此仅介绍铝质断条故障的修理方法。

（1）个别断条的局部修理

1）查出断条槽后，在两端把该槽口的端环锯断，然后用钢凿沿铁心端面与槽口齐平，将槽口的端环凿去；

2）将转子夹住，用钻头(加长)将断条沿槽钻通，但注意不要损及铁心；

3）把槽内残余的铸铝清除干净；

4）根据转子槽形的形状和尺寸做一根铝质笼条，打入槽内，其长度约与端环齐平；

5）将4%的铝、63%的锡和33%的锌混合在容器中加热熔化后倒在略倾斜的角铁上，凝成约8mm大小的长条形铝焊条；

6）利用气焊将焊接缝处加热，加铝焊药把铝焊条烧溶，将笼条与端环焊接；如有端环风叶也随之在原位焊上；

7）冷却后将多余部分修去。

（2）换笼修理　如果断条较多，局部修理无效时则必须换笼。换笼有重铸铝笼或更换铜笼，前者工艺较复杂，要在铸铝的专用设备上进行，一般部门无此条件；后者则为修理车间常用的替代办法，其工艺如下：

1）将转子在炉上加热到650～700℃左右（铁心呈暗红色），使铸铝熔化脱落；

2）槽内铸铝脱落后，取出转子趁热用挠钩和小铲将残存在槽内的铝渣全部清除干净；

3）笼条选用与焊接

① 一般电动机可选用矩形紫铜条并将上端倒角（铜条截面积为转子槽面积的70%左右），打入槽内，如图1-4所示。全部笼条插入后，把与笼条对应位置开槽的端环（端环截面积为原铝环的（70～80）%、端环开槽深度约为笼条高度的1/3）嵌入端部，然后用气焊将接触部位焊牢。采用这种结构的笼条端部可兼作转子风叶，有利于电机冷却，但工艺要求较高。

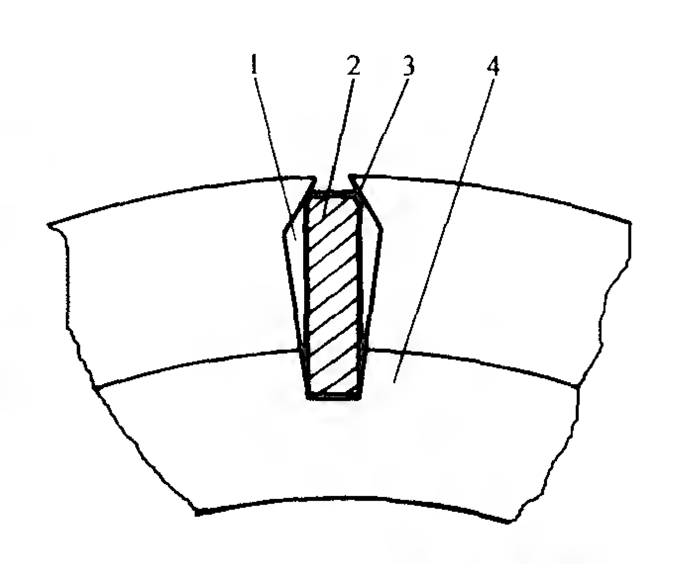


图1-4 新换笼条在转子槽的放置
1—转子槽 2—换用铜质笼条
3—笼条倒角 4—转子端环

② 小型电动机转子的笼条截面积较小，不便焊接端环，因此可将笼条加长，伸出铁心约20～30mm，然后向一边敲弯，使各槽笼条顺势搭接，再用气焊将其焊成整体。

4）最后上车床，将转子端环车削整齐。

2. 铸铝端环开裂的修理

（1）将转子平置于滚架上，使开裂处向上；

（2）清理转子并擦去油污后，用钢凿沿表面裂纹凿出V形槽；

（3）用喷灯或气焊将补焊处加热到400～500℃；

（4）加铝焊药将烧熔的铝焊条溶注入V形槽并渗入裂缝中；

（5）完成后自然冷却，修整齐平，并将杂物清除干净即可。

二、转子铁心松动及处理

转子铁心与轴的公差配合不当，或电动机过于频繁正反转等

都可能引起转子松动移位。处理方法如下：

1. 滚花修复法

（1）检查并调正定、转子铁心相对位置正确后，在转轴上做好记号或测量并记录好尺寸；

（2）在压床上将铁心从轴上退出；

（3）转轴上车床后，把铁心的配合段进行滚花处理；

（4）再把转子铁心压到轴的正确装配位置。

这种修复工艺简便，不用其它材料，较为经济，对于小型电动机修复的效果较好。

2. 粘胶固持法

（1）检查调正定、转子相对位置正确后，做好记号，压出铁心；

（2）用清洁剂把转子铁心内孔及轴的配合段清洗干净；

（3）晾干后把 LT-680 固持胶涂抹在铁心内孔和轴的配合段上；

（4）将铁心上压床压入到轴的正确配合位置，固化后即可使用。

此法简易方便，适用于磨损间隙较小的小型电动机铁心松动修复。

3. 环氧玻璃钢套修复法

如果转轴磨损较大，用上述方法修复不能保证质量，对小型转子铁心松动可用此法修复。

（1）记录清楚铁心在转轴位置后，将铁心退出；

（2）在轴上将铁心配合段表面车去 2mm，并要求表面加工纹路粗糙；

（3）用环氧胶涂玻璃丝布并着力包扎，包时要求分布均匀，包扎到所需厚度后，再用热收缩带包扎二层；

（4）在 135℃温度下固化 24h；

（5）拆去热收缩层，冷却后进行车削加工到配合尺寸；

（6）将转子铁心压入轴上正确位置。

三、转子窜轴的处理

电动机工作温度升高会使转轴产生热胀伸长，所以端盖轴承室设计时留有一定的窜轴游隙。如果转轴游隙过小，电动机运行后可能会被“咬死”；过大则会发出振动噪声。电动机游隙超过表 1-4 参考值时，应进行调整处理。其调整方法：

表 1-4　电动机最大轴向窜动的参考值

电机功率/kW	轴向游隙/mm	电机功率/kW	轴向游隙/mm
< 10	1.0	70 ~ 120	3.0
10 ~ 20	1.5	> 125	4.0
30 ~ 70	2.0		

（1）将电动机端盖卸下。

（2）加工一个钢质垫圈，其外径等于轴承外径，厚度由下式确定：

$$B = b' - b$$

式中　B——垫圈厚度，mm；

b'——在轴端实测的原窜轴游隙，mm；

b——轴向窜动参考值(由表 1-4 取)。

（3）将加工好的垫圈放入端盖轴承室端部后，进行电动机装配即可消除过量的窜轴。

四、轴颈磨损的修理

1. 锡焊修理法

（1）从轴上退出轴承，把轴承档位清洗干净，将其加热到 100 ~ 120℃时取出，用砂布打磨焊接段；

（2）用大功率电烙铁在磨损的轴颈上加热，并涂抹焊锡膏，将轴承档搪上一层薄锡；

（3）冷却后再将轴承内圈抹上机油再压入轴承档。

此法工艺简单、成本低廉，适用于磨损程度较轻的小型电动机轴颈的修复。

2. 粘胶修理法

（1）退出轴承，用砂布把轴颈的锈蚀部分打光；

（2）用煤油把轴承档位的油污清洗干净后再用丙酮（或 LT-清洗剂）精洗；

（3）晾干后把 LT-609 固持胶涂抹在轴承内圆及轴的装配段；

（4）约十分钟后将轴承装入档位，固化后即可用。

此法用料不多、工艺简单易行，适用于磨损间隙小于 0.13mm 的电机轴颈修复。

3. 镶套法

如果轴颈磨损较严重，且电动机轴径较大而轴的机械强度裕量足够时，可采用镶套法修理。

（1）把磨损的轴颈直径沿档位车去 6～8mm；

（2）用 45 号钢加工一钢套（外径约大于配合尺寸 0.5～1mm），采用过盈配合，配合公差见表 1-5；

表 1-5　镶套（内径）与轴的过盈配合公差　（mm）

轴标称尺寸		>6～10	>10～18	>18～30	>30～50	>50～80	>80～120	>120～160	>160～220
钢套内径公差	上偏差	-0.028	-0.033	-0.041	-0.060	-0.087	-0.124	-0.170	-0.210
	下偏差	-0.050	-0.060	-0.081	-0.109	-0.148	-0.198	-0.253	-0.308

（3）车好后用热套镶入配合段，如图 1-5 所示；

（4）冷却后再上车床，以转子外径为基准校正，精车钢套外径，配合尺寸参考表 1-6；

表 1-6　电动机轴颈与滚动轴承内套的配合公差　（mm）

轴　径	向心滚珠轴承		短圆柱滚子轴承	
	上偏差	下偏差	上偏差	下偏差
6～10	-0.004	-0.003	—	—
11～18	+0.005	-0.003	—	—
19～30	+0.012	+0.002	—	—
31～50	+0.014	+0.002	+0.014	+0.002
51～80	+0.016	+0.003	+0.028	+0.012
81～120	+0.028	+0.012	+0.040	+0.013
121～180	+0.040	+0.013	+0.045	+0.026

(5) 将轴承加热装入配合档即可用。

五、弯轴的修复

(1) 将转子轴的两端架放在两个V形支承座上，支座要牢靠稳固(如转子轴较小则可装在车床上进行)；

(2) 转动转子，用千分表(如无也可用划针盘)找出铁心或轴的弯凸面，并将此面朝上；

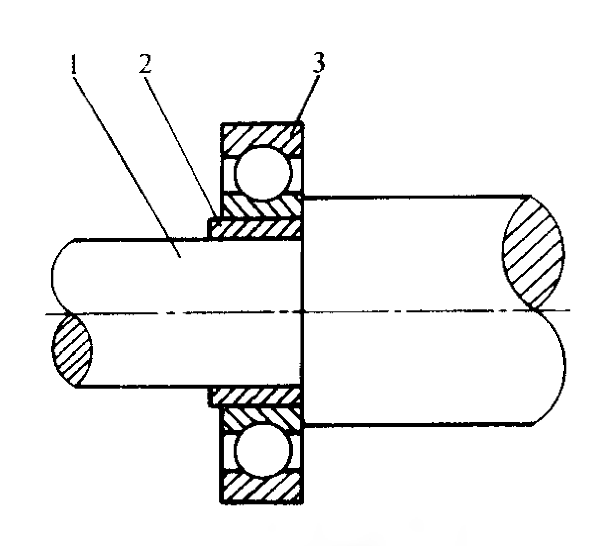


图 1-5 轴颈镶套修复
1—电机轴 2—镶入套筒 3—轴承

(3) 在凸出面垫衬硬木板，然后用锤敲击矫直；

(4) 边敲边检查，一般要求矫直后的精确度达到0.05～0.2mm/m即可使用。

此法一般适用于小型电动机的轴弯矫直，对于较大的转轴，必须用压力机进行矫直。

六、断轴的修复

电动机断轴后最好将转子退出，重新加工一条新轴换上。如需修复，可采用下列方法：

1. 焊接修复法

(1) 正确测量并记录轴子轴各部尺寸；

(2) 在车床上把带转子铁心的断裂面车平，然后在轴断面上钻一攻丝坯孔(孔径约为断面轴径的1/3)，并车(或攻)制内螺纹；

(3) 同一根45号钢坯料(直径大于断面)一端车配螺纹，螺纹长度约大于螺孔深度5～10mm；

(4) 将车好的钢坯旋入螺孔后，如图1-6所示；

(5) 着力拧紧后先在交界处环焊一周，除焊渣后采用环绕堆焊，并注意随时将焊渣清理干净，以保证焊接质量；

(6) 焊接完成后，将焊接部位进行退火处理，以消除焊接应

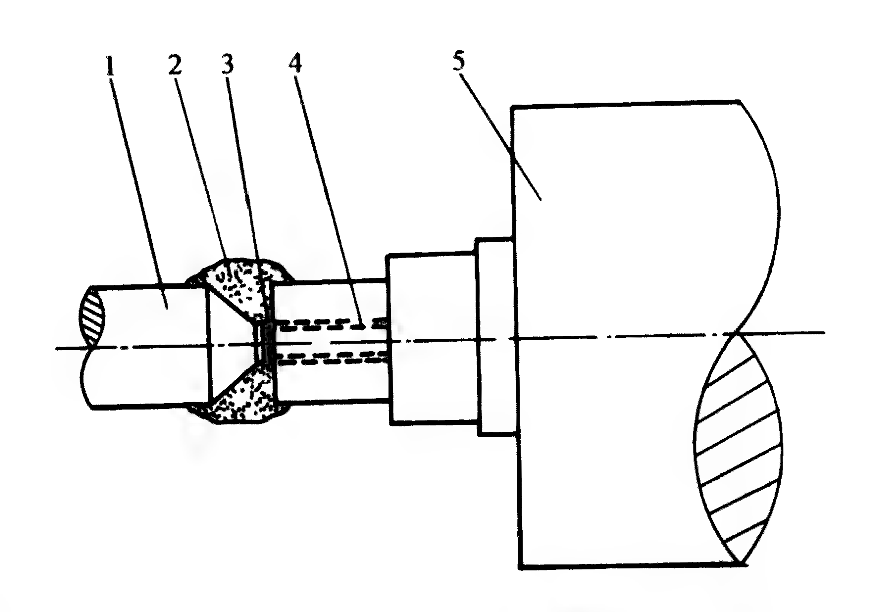


图 1-6　断轴的焊接修复

1—断轴接长坯料部分　2—堆焊部位　3—环焊部位
4—接长坯料的旋入螺杆　5—转子铁心

力的影响；

(7) 最后根据原始记录车出各部尺寸及加工键槽。

由于焊接后的内应力很难完全消除，而且焊接质量也不够稳定，采用焊接修复的轴比较容易再次折断。所以当轴径较大时不宜采用此法修复，还是更换新轴为妥。

2. 粘结修复法

(1) 测量断轴直径等尺寸，用 45 钢车制一只钢套，内径公差为 +0.08 ~ +0.11mm，厚度约为直径的 1/3，长度以不妨碍装配为度；

(2) 将断轴端面和粘结表面用清洁剂或丙酮洗干净；

(3) 干燥后在钢套内侧及轴的表面和两断面上均匀涂刷 Y-150 厌氧粘结剂或 LT-609 固持胶；

(4) 将钢套一半长度套入转子断轴，再把断开部分插入钢套，并使断口纹路对接整齐；

(5) 固化 1h (LT-609 固化 1 ~ 6h)后，可组装使用。

此法用于断裂点在无直径变化的直轴修复，不宜用于轴肩部

位断裂的轴。一般常应用于小电机轴，但曾在 4.5kW 电动机断轴修复中获得过实际应用。

七、键槽磨损的修复

实践中较多采用整形修复法，其工艺如下：

（1）将磨损键槽的轴上铣床或刨床校正、固定好；

（2）根据槽宽的磨损程度，将键槽一边切削平直，然后再按同样尺寸加工另一边，但键槽加宽的总量不得超过键槽原来宽度的 15%；

（3）重新配制梯形键，如图 1-7 所示。要求配键两侧配合紧密，但键的高度要有 0.1～0.5mm 的间隙。

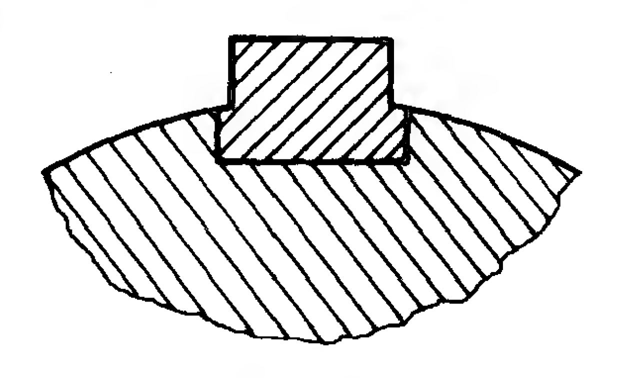


图 1-7　梯形键的配装情况

此法适用于键槽磨损不大的情况，如键槽严重磨损则可将轴转过 90°另铣键槽。如果另铣键槽后，轴的机械强度不足，则可将原损坏的键槽用堆焊填满后，再将其车圆。

第三节　电动机轴承故障检查和代换

电动机轴承是转子转动时输出转矩的支承，也是定、转子同心度的重要保证，但在高速运行中会造成磨损，如磨损超限就导致电动机产生振动、噪声和发热，严重时甚至不能工作而引起绕组烧毁。

一、电动机轴承型号

电动机有采用滑动轴承和滚动轴承两种，但目前中小型电机都采用滚动轴承。一般小功率电机两端轴承均选用滚珠轴承，而功率较大电机的前端（负载输出端）常选用承载量较大的滚柱轴承；而后端则用具有限位和定心功能的滚珠轴承。小型三相电动机配用轴承的型号见表 1-7 和表 1-8。

表 1-7 Y 系列(IP44)电动机轴承型号和规格

机座号	极 数	轴承型号		轴承规格/mm
		前(负载输出)端	后 端	(内径×外径×宽度)
80	2、4	180204Z_1	180204Z_1	20×47×14
90	2、4、6	180205Z_1	180205Z_1	25×52×15
100	2、4、6	180206Z_1	180206Z_1	30×62×16
112	2、4、6	180306Z_1	180306Z_1	30×72×19
132	2、4、6、8	180308Z_1	180308Z_1	40×90×25
160	2	309Z_1	309Z_1	45×100×25
	4、6、8	2309Z_1		
180	2	311Z_1	311Z_1	55×120×29
	4、6、8	2311Z_1		
200	2	312Z_1	312Z_1	60×130×31
	4、6、8	2312Z_1		
225	2	313Z_1	313Z_1	65×140×33
	4、6、8	2313Z_1		
250	2	314Z_1	314Z_1	70×150×35
	4、6、8	2314Z_1		
280	2	314Z_1		
	4、6、8	2317Z_1	317Z_1	85×180×41
315	2	316Z_1	316Z_1	80×170×39
	4、6、8、10	2319Z_1	319Z_1	95×200×45

注：IP44 为封闭式电动机

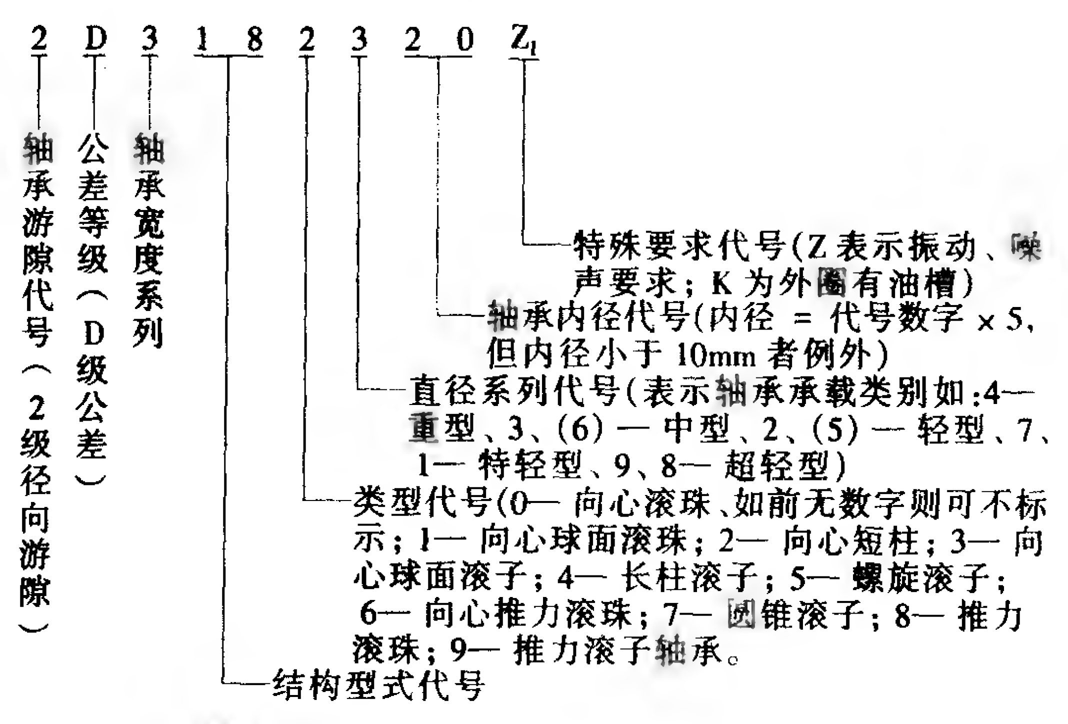
表 1-8 Y 系列(IP23)防护式电动机轴承型号和规格

机座号	极 数	轴承型号		轴承规格/mm
		前(负载输出)端	后 端	(内径×外径×宽度)
160	2	211Z_1	211Z_1	55×100×21
	4、6、8	2311Z_1	311Z_1	55×120×29
180	2	212Z_1	212Z_1	60×110×22
	4、6、8	2312Z_1	312Z_1	60×130×31
200	2	213Z_1	213Z_1	65×120×23
	4、6、8	2313Z_1	313Z_1	65×140×33

（续）

机座号	极　数	轴　承　型　号		轴承规格 /mm （内径×外径×宽度）
		前（负载输出）端	后　　端	
225	2	$214Z_1$	$214Z_1$	70×125×24
	4、6、8	$2314Z_1$	$314Z_1$	70×150×35
250	2	$314Z_1$	$314Z_1$	70×150×35
	4、6、8	$2317Z_1$	$317Z_1$	85×180×41
280	2	$314Z_1$	$314Z_1$	70×150×35
	4、6、8	$2318Z_1$	$318Z_1$	90×190×43
315	2	$316Z_1$	$316Z_1$	80×170×39
	4、6、8、10	$2319Z_1$	$319Z_1$	95×200×45

滚动轴承的结构型式很多，小功率的三相交流异步电动机最常用的单列向心滚珠和滚柱轴承一般只用三、四个数字的型号表示，如306、2316等，但结构复杂的轴承型号则由几组代号和数字组成，其意义用实例说明如下：



二、滚动轴承清洗

检修或新轴承装配之前都要进行清洗，但检修时的轴承除必

须拆卸下来之外，一般都可以在原轴位置进行清洗。轴承清洗方法：

1. 新轴承清洗

用70号汽油将轴承泡浸，当油脂溶解时用毛刷将轴承的防锈剂清刷，将轴承内外圈转过一个角度后，再继续清洗，直至全部清洗干净。但用毛刷清洗轴承时，不要边转动边刷，以免刷毛卡在轴承内。轴承进行必要的检查之后，再用油壶将清洁的汽油冲洗轴承的滚子和滚道、晾干后再加润滑脂。

用汽油清洗适用于用油剂防锈剂的新轴承，如是用气相防锈剂或水剂防锈剂的新轴承则不溶于汽油，而应用664溶液或油酸钠皂水溶液清洗。

2. 煮洗轴承

(1) 把轴承从转轴上卸下，用竹木板条把轴承内的润滑脂刮除；

(2) 将旧废变压器油(经沉淀澄清后)置于油盘中烧煮加热至90～100℃，但注意防火；

(3) 用木棒将轴承翻动，使轴承内的油脂基本上溶解去除；

(4) 取出轴承，待温度下降后，再用汽油清洗干净，晾干即可装配。

此法可节省汽油、成本低且工效高，适用于清洗拆卸下来而数量大的新旧轴承。但必须注意，凡采用塑料保持架或塑料封闭防尘罩的新旧轴承均不能采用煮洗。

3. 煤油、汽油清洗轴承

(1) 先用竹木片把轴承内的润滑脂刮出；

(2) 用煤油(或柴油)洗去滚子、定位架内的油脂；

(3) 清洗之后换用干净的煤油(或柴油)再洗一遍，并用手转动至无残留物阻滞滑行时再作必要的检测(方法见后)；

(4) 最后将干净的汽油盛于油壶中冲淋轴承滚子和滚道。

此法既可清洗卸下的轴承，也可清洗在轴上的轴承，是现场检修中常用的清洗轴承的方法。

三、轴承故障

1. 轴承滚子或滚道破裂

轴承装配尺寸的过盈量过大而强行压入时便可能将轴承内圈滚道破裂；若轴承外圈与配合的座孔过量变形，也是造成外滚道破裂的原因。此外，有的轴承质量问题，如热处理不均匀，或淬火过硬，都会在装入时或运行中破裂；而装配过紧的轴承在运行中也容易导致滚子碎裂故障。

2. 轴承滚子或外圈变蓝

这种故障主要是轴承内长时间缺油运转，摩擦所产生的热量散发不及致使滚子表面和内外滚道上形成过热而变成蓝色。另外，轴承外圈配合过松，当外圈在运行时随着转动也会造成外圈表面过热发蓝。

3. 轴承腐蚀

轴承腐蚀分氧化腐蚀和电腐蚀。前者是由于水分或酸、碱等物质混入轴承室引起金属氧化的锈蚀，这时可在轴承滚子或滚道表面出现锈斑或凹坑。后者则是大电流经轴承导流所致，以轨道式电车电动机使用的轴承最为常见，它可使滚子和滚道表面出现类似电焊的连片较大面积的圆滑凹坑。

4. 轴承金属疲劳

此故障是由于负载过重、轴承超期使用以及振动极强烈下运行而引起的。金属疲劳的表现是滚子或滚道上出现鱼鳞状的“脱皮”。

5. 轴承转动不灵活

引起的原因很多，常见的原因有：

（1）杂物进入轴承，造成转动时滚子转动受阻；

（2）轴承外圈与端盖的轴承室，或轴承内圈与轴颈的配合公差不当致使径向间隙过小，滚子受压而转动不灵活；

（3）轴承室变形后压迫轴承外圈，致使外圈滚道变椭圆而转动不灵活；

（4）两端盖的轴承室孔，或轴两端轴承档加工的同心度不符

合要求，造成“咬跷”而装配后转动不灵活；

（5）两轴承档的轴向尺寸配合不当，使轴承受轴向压力而转动不灵活；

（6）轴弯也会引起转动不灵活。

6. 轴承的磨损

轴承正常的运行也会磨损，若润滑脂选用不当，或混有杂物、尘土等运行则磨损加剧，当磨损到一定程度后，径向间隙过大而运行状态明显恶化。

轴承出现上述故障后通常都会引起电动机局部或整机过热现象，同时还会伴随着强烈的振动和噪声。

7. 轴承滚子移位

轴承的滚子(滚珠或滚柱)是由保持架将其均匀分布在圆周滚道上。一般轴承采用钢片压制成对铆的浪形保持架，由于受到冲击性负载或材料质量问题，会使铆钉断裂则保持架变形、散开，致使滚子移位，轴承偏心，严重时甚至可使电动机转子碰及定子铁心造成“扫膛”故障。此外，也有采用成本较低的塑料保持架的，它的耐热性较差且容易老化变形，故这种轴承只适用于环境温度不高、轻负载运行的电动机。

8. 轴承封闭防尘罩变形

封闭防尘罩由钢片或塑料压制而成，由外缘卡入轴承外套内侧的槽中，既防止轴承内的润滑脂流失，又可避免尘土等异物进入轴承。目前，电动机中采用的180000系列就是这种轴承。防尘罩变形后容易脱落，不但失去防护作用，同时还会引起噪声，甚至可能被压碎而进入滚道损坏轴承。对金属罩变形，一般可进行调正后重新装入使用；如是塑料罩则不能修复，但可在同规格的废旧轴承中卸下完好的防尘罩装用。

四、轴承检查

轴承清洗干净后要进行质量和磨损情况的检查，以确定是否需要换新。检查方法有：

1. 外观检查

轴承洗干净之后，可将一手穿入内孔并外张，另一手转动外圈时听其滚动声音应是灵活、均匀、圆滑、平稳而无卡滞现象，否则说明轴承有缺陷。另外再观察轴承滚子及内、外滚道是否有裂纹、锈蚀、凹坑、脱皮和变色等。此外，还要检查保持架有无变形、铆钉是否脱落或松动；防尘罩有否变形、是否装配牢靠等。

2. 松动检查

为了确保轴承滚动自如，滚动轴承必须有一定的径向间隙，新轴承的间隙量极小，故松动检查可凭经验，如图 1-8 所示。用手扳动轴承外圈，若晃动轻微而不明显者为正常；若有较大晃动，则说明此轴承磨损过量。

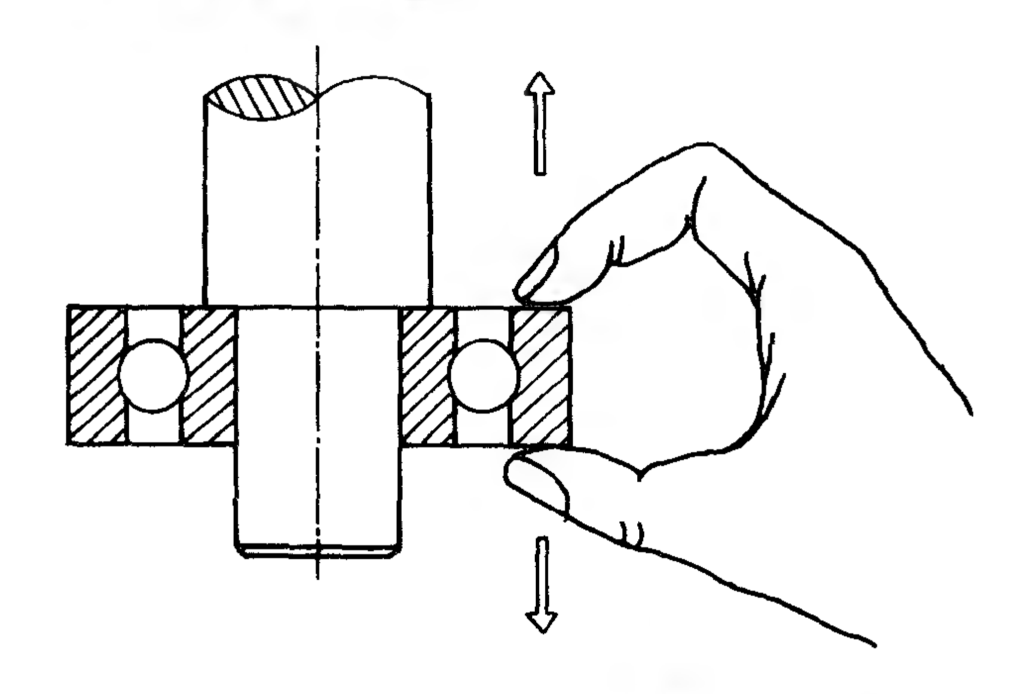


图 1-8　用手动晃动检查轴承

此法检查要凭较丰富的实践经验才能作出正确的判断，故有很大的随意性。实用上一般常用来检查小轴承。

3. 塞尺检查法

（1）轴承洗净后，用左手握持轴承内外圈一端；

（2）右手持塞尺从手持轴承相对部位的滚子与外圈滚道之间抻进；

（3）如塞尺能顺利穿过则再换厚塞尺再试；

（4）检测中能穿过轴承滚珠的最大厚度塞尺（滚柱轴承则以能深入滚柱长度的 1/4，而且要求从两侧测量后，取其平均值）即是该轴承的径向间隙。

新轴承的径向间隙及磨损极限见表 1-9。但实际上，由于异步电动机气隙较小，气隙对电机性能影响很大，所以，轴承的磨损超过 2/3 的极限值便应予更换新轴承。

表 1-9　滚动轴承的径向间隙　　（mm）

轴承内径	径向间隙		
	新滚珠轴承	新滚柱轴承	磨损极限
20～30	0.01～0.02	0.03～0.05	0.10
35～50	0.01～0.02	0.05～0.07	0.15
55～80	0.01～0.02	0.06～0.08	0.20
85～120	0.02～0.04	0.08～0.10	0.25
130～150	0.02～0.05	0.10～0.12	0.30

采用此法的操作熟练性和经验也可能影响测量的准确度。

4. 压丝测量间隙

（1）先将轴承内圈固定，取直径 1mm 左右的铅保险丝从滚子之间穿过轴承；

（2）将轴承外圈慢慢转动，并使保险丝顺势靠近滚子（滚珠或滚柱）；

（3）均匀用力转动外圈，使保险丝进入并滚过滚子与外圈滚道间隙后停止；

（4）取出滚压过的保险丝，用千分尺测量保险丝碾扁的最薄部位；

（5）在轴承圆周上分三个等分部位进行压丝，然后取其平均厚度即为轴承的径向间隙。

此方法比较准确可靠，但要有两人协同操作，而且对小轴承的测量有困难。此外，间隙测量是在外观检查无异状的条件下进行的，如果外观检查有缺陷便可否定此轴承，就无需再检测间隙了。

五、轴承润滑脂

电动机轴承的寿命与使用润滑脂和润滑条件有密切关系。为使轴承能充分使用，一般宜在运转5000h后进行清洗、换油。换用的润滑脂要根据电动机型式、工作条件等合理选用。目前，中小型电动机常用的滚动轴承润滑脂见表1-10。

六、轴承更换和代用

轴承损坏或磨损过量后要更换新轴承，有时为了改善运行性能，降低运行噪声，或修理国外引进设备的电动机时，有可能遇到轴承代换问题。

1. 新轴承更换的注意事项

(1) 更换新轴承必须选用同型号的轴承；

(2) 要求选用同国家、同牌号的产品，最好是用同厂家的产品，否则可能会因各自标准不同而影响运行质量；

(3) 轴承精度等级分C、D、E、F、G五级，其中C级最高，G级最低，一般标示在轴承外圈侧面。轴承换新时要用同精度的轴承；

(4) 新轴承更换前应先进行各项检查，并测量径向间隙必须符合表1-9的要求；

(5) 新轴承更换前应查阅产品说明，以了解原用防锈剂性质，以便清洗干净(180000系列防护式轴承除外)。

2. 代换轴承的选用

按基本尺寸选择代用轴承　一般滚动轴承的主要尺寸是内径(d)、外径(D)和宽度(b)，如果这三个基本尺寸与原轴承相同，则装配时无需改装轴承室结构。但轴承的使用寿命与承载能力有关，其参数称为工作能力系数(C)，生产厂家不同或结构型式不同则承载能力也不相同，如果C值较原轴承小，则其代换后的使用寿命将缩短。所以，选用时应选相近的C值。

不同型号的轴承是按不同工作转速来设计的，低转速轴承用到高速条件则轴承运行温度升高，要影响使用寿命；反之，高速轴承用在低速条件下，对轴承润滑也是不利的。所以，选代用轴

表 1-10　电动机滚动轴承常用的润滑脂性能

名　称	钙基润滑脂				钠基润滑脂		钙钠基润滑脂		复合钙基脂				二硫化钼润滑脂				复合铝基脂
牌　号	SYB1401—62				SYB1402—62		SYB1403—59		SYB1407—59				HSY—$\frac{101}{103}$				SHY—$\frac{101}{103}$
序　号	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4	1	3	4	5	
最低工作温度/℃	不低于 - 10				不低于 - 10		不低于 - 10		不低于 - 40				不低于 - 40				—
最高工作温度/℃	70	75	80	85	120	140	110	125	170	180	190	200	高于100	高于140	高于100	高于100	200
适用电机等级	Y				A、E	E、B	A	E	B	F			E.B	B.F	E.B	E.B	F、H
性　状	黄色到暗褐色软膏状				深黄色到暗褐色软膏状		黄色到深棕色软膏状		淡黄色到暗褐色光滑透明油膏状				深灰色或灰褐色光泽软膏状				黄褐色软膏状
抗水性	不易溶于水，抗水性较强				亲水性强，易溶于水		抗水性较差		抗水性强				抗水性强				抗水性强
适用范围	适用于温度较低和有水分或与水接触条件下工作的封闭式电动机				适用于干燥、无水、高温环境下运行的开启式电动机		适用于有水蒸气的环境或工作在高温条件的开启式或封闭式电动机		适用于高温运行，有水接触及严重水分的场合中使用的封闭式电动机				适用于高温工作条件，也用于潮湿工作环境，是湿热带电动机应用的润滑脂				适用于高温工作条件，有水接触及严重水分的场合中使用的封闭式或开启式电动机

承时，极限转速也要求接近。此外，选用不同型式轴承还应考虑使用要求，例如滚珠轴承具有向心和一定的止推功能，能在电动机中起到定位的作用，如果用滚柱轴承代换，则必须使前、后两轴承配合使用时能满足这种功能。

3. 轴承规格不同的代换

如果没有同型号或同规格的新轴承更换，为了应付生产急需则可选用相同结构型式而不同基本尺寸的轴承代用，但代换后的轴承装配要采取加垫措施。通常有下列几种情况：

（1）代换轴承内、外径相同但宽度比原轴承窄　这种代换要将垫圈加在轴承室外圈位置，如图 1-9a 所示。这种形式的代换，新轴承的工作能力系数要降低，使用寿命较短。

（2）代换轴承内、外径相同，但宽度比原轴承宽　这种代换将受到轴承室尺寸的限制，只有新轴承增加的宽度小于轴承盖止口长度才能实现，这时需车去轴承盖的部分止口，如图 1-9b 所示，车去长度等于轴承增宽尺寸。代换后，轴承的工作能力系数提高，使用寿命可延长。

（3）代换轴承宽度、内径相同，但外径比原轴承小　这时应在轴承外圈加衬套，如图 1-9c 所示。不过这种代换在同类型、同宽度、同内径的轴承较为少见。

（4）代换轴承宽度、外径相同，但内径比原轴承大　代换时可在轴颈处加一衬套，如图 1-9d 所示。

（5）代换轴承内径相同，但外径小且宽度窄　这种代换要如图 1-9e，在外圈上加一个异型衬套，套的径向厚度补足外径尺寸，侧面厚度则补足原轴承宽度尺寸。这种代换一般会使工作能力系数降低较多，故使用寿命较短。

（6）代换轴承外径相同，但内径大且宽度窄　这种代换需增加一套一垫，如图 1-9f 所示。衬套加在轴颈上，以补足新轴承内径增加后的尺寸；垫圈加在外圈侧面，以补足宽度减少的尺寸。代换后轴承的工作能力系数有改变，但具体情况要查阅新旧轴承技术资料确定。

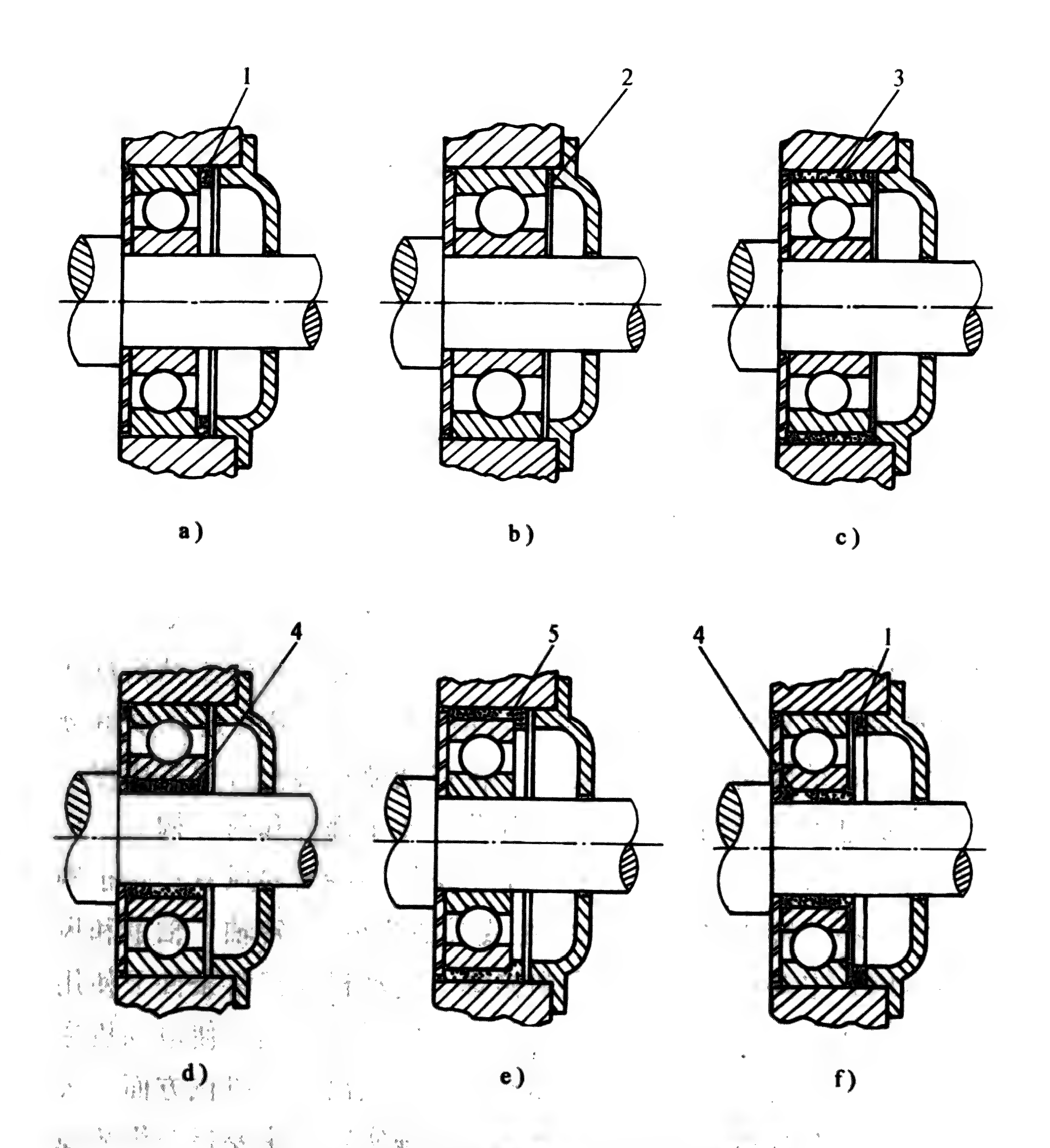


图 1-9　不同规格轴承代换的加垫措施

1—加宽垫圈　2—车去轴承部分止口长度　3—轴承外圈衬套
4—轴承内圈衬套　5—异型衬套

第二章　电机绕组结构与型式

本章所述电机绕组包括三相电机绕组、单相电机绕组、换向器式电机绕组和变极电动机绕组，并依绕组结构分为单层绕组、双层绕组及混合式绕组进行分述。

第一节　三相绕组结构基本参数与型式

三相绕组主要应用于由三相正弦交流电源供电的电动机。它包括三相异步(感应)电动机和同步电动机，其定子绕组结构型式是相同的，区别在于转子绕组。目前被广泛应用的是异步电动机，它具有结构简单、运行可靠、价格低廉和维修方便等优点。

异步电动机结构主要由定子部分、转子部分和附件构成。定子包括外壳(机座)、定子铁心、定子绕组、端盖和风罩；转子则由转子铁心、转子绕组(笼型绕组或线圈绕组)、转轴、轴承和风叶等组成；主要附件有接线盒和铭牌。电动机在正常条件下使用是不易损坏的，但在运行中的一些不确定因素影响，使电动机在使用寿命期内受到损坏，其损坏部位除少数出现在机械方面，大部分却发生在绕组。因此，电动机的修理实际上主要指绕组故障的重绕修理。

由于电机绕组的种类较多，要学会修理必须对绕组的型式和结构特征全面了解，才能在实施中掌握嵌线、接线等核心技术。

一、三相绕组布线类型与特征

电机绕组布线有显极与庶极之分，为了形象地说明问题，特以凸极电机为示例。图 2-1a 是由一相绕组形成四极的显极式绕组示意图，每个凸形极上缠绕一只线圈，又称“集中式”绕组。若设同绕方向的起端为“头”，另一端则是“尾”，使相邻线圈反

极性连接，即“尾与尾”或“头与头”接好后，假如从 U_1 端“+”为通入电流，则 U_2 端流出为“-”，电机各磁极产生的极性可根据右手螺旋定则确定，如图 2-1 所示。由图可知，相邻两磁极的极性是相反的，而且是以 N 极和 S 极交替轮换，并成对存在。这就是电机定子磁场极性的基本规律。

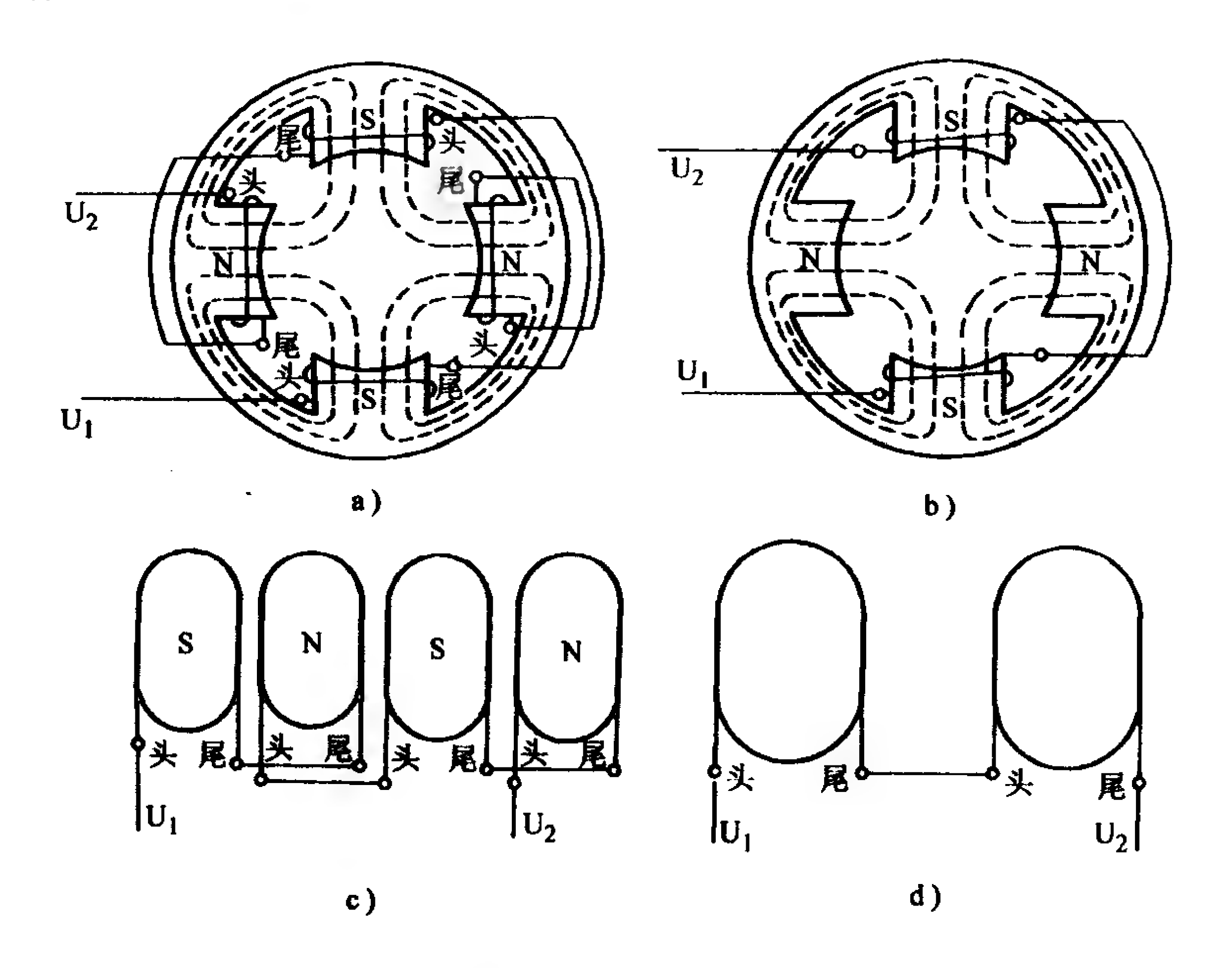


图 2-1　电机四极绕组示意图

a）一相绕组的显极形成示意　c）一相绕组的显极接线展开图（反接串联）

b）一相绕组的庶极形成示意　d）一相绕组的庶极接线展开图（顺接串联）

在图 2-1a 的定子中，如果把凸极之间的空间称之为“槽”，则此定子就是 4 槽，每个槽有两只线圈的导线嵌入，嵌入槽内的线圈边称为“有效边”，即此电机有 8 个有效边。如果再把定子沿轴线纵向剖开展平，将线圈按排列顺序取出就得如图 2-1c 的一相绕组。这时可见，此绕组是由 4 只线圈（组）构成四极的，即每相线圈（组）数等于极数的布线形式称为“显极式”绕组。

上面构成四极的定子只能容纳一相绕组，如果要容纳三相绕

组就需要 12 个槽，这样，槽与槽之间的凸极铁心就变窄而成为“槽齿”。这种铁心形式就是三相电动机定子的多槽式铁心；它的每极绕组由多只线圈组成而不同于“集中式”，故称为“分布式”绕组。

三相分布式绕组就是由三个参数(匝数、线径和线圈(组)几何形状、尺寸）完全相同的相绕组构成，并要求相间按相隔 120°电角度空间分布的位置安排，嵌装在定子铁心槽内。图 2-2 就是 12 槽铁心构成的三相四极双层绕组的端面分布情况。它的大圆圈代表定子铁心内径，铁心以内是转子位置(图中未画出)，大圈之外代表定子铁心上的槽及嵌装线圈的有效边(截面)，每一有效边用小圆圈表示，靠外的是下层(有效)边，靠近大圆是上层(有效)边；连接两槽有效边的弧线是线圈的一部分，称为线圈端部；大圈内的线分别是三相绕组的连接线。由此可总结得：

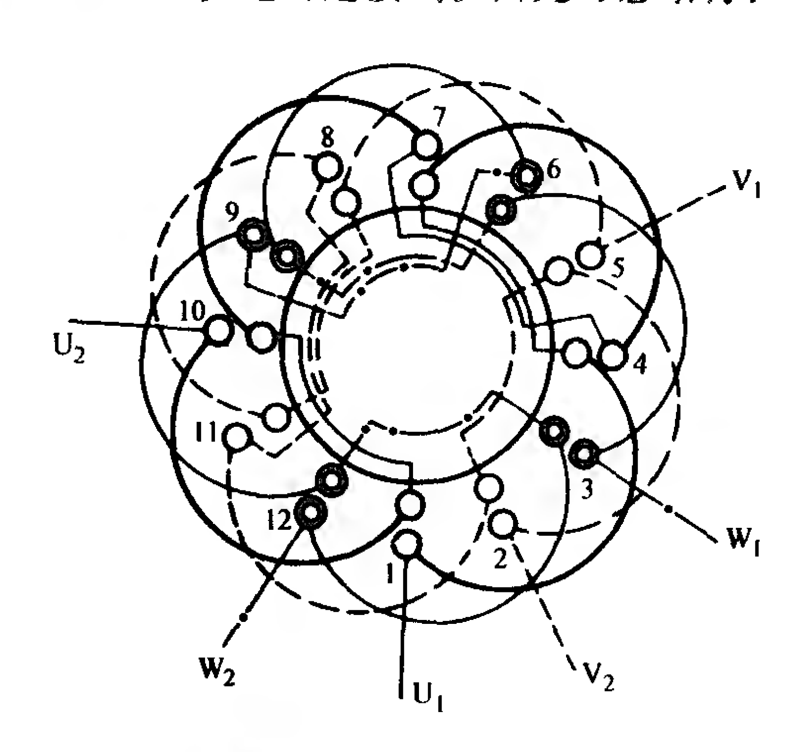


图 2-2　12 槽构成的三相四极双层绕组端面分布情况及接线

三相显极式绕组的布线要求与特征：

(1) 每相绕组的线圈总数等于极数；

(2) 同相线圈组间的分布是相邻的(见图 2-1c)，但也可相交

或相叠；

（3）同相相邻线圈组的极性必须相反；

（4）同相相邻线圈组必须是反接串联，即“尾接尾”或“头接头”。

如果改变绕组在定子中的安排和接线，用两只线圈绕在相对凸极上，如图 2-1b 所示，并使线圈的头与另一线圈尾相接，使带线圈的两凸极都产生相同的极性，由于同极性的磁力线相斥，磁通只能横向折反，从而获得如图的四个磁极，这种布线形式就是“庶极式”绕组。

三相庶极式绕组的布线要求与特征：

（1）每相绕组的线圈组数等于极数的一半；

（2）同相线圈组的分布是分隔的，相距约为一个极距；

（3）同相相邻线圈组的极性必须相同；

（4）同相相邻线圈组必须顺接，即“尾与头”相接。

二、三相绕组术语和基本参数

三相电动机的定子为了形成旋转的磁场，不适宜采用明显凸出的磁极，而是把线圈按一定规律分布嵌装在很多槽的定子铁心中，通过安排和接线来形成磁极的，通常就称为分布绕组隐极式布线。

分布式绕组是一个较复杂的线圈连接、组合电路，它有多种布线结构型式。为便于读者掌握，首先对绕组有关术语和参数的含义进行介绍。

1. 线圈

线圈是由绝缘导线在绕线模上绕制而成的基本元件，其常见形状如图 2-3 所示。它的两直线段嵌入铁心槽内，是电磁能量转换部分，称为线圈有效边；两端部仅作为连接有效边的“过桥”，它不能产生能量转换，而且还对电动机性能有负面影响，但它是构成线圈不可缺的部分，故线圈的端部长度是越短越好；引线则是引入电流的连接线。

2. 绕组

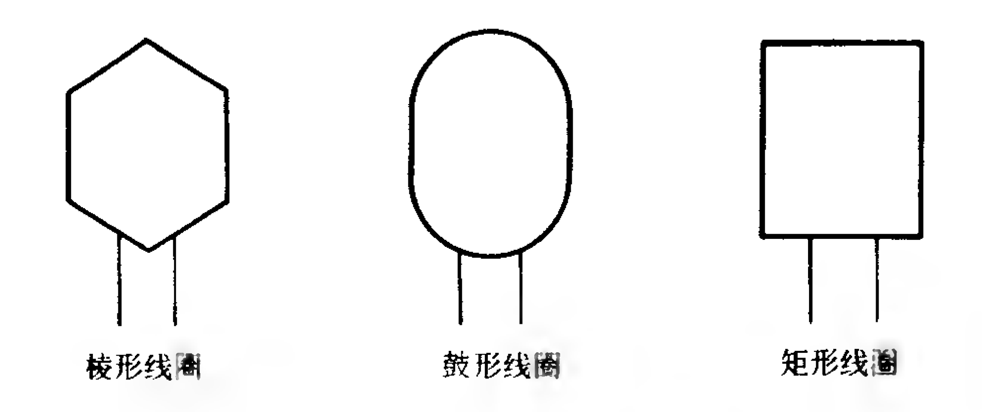


图 2-3　电动机常用的几种线圈形状

几个线圈顺接串联构成线圈组，但线圈组也可由一只线圈构成，称为“单圈组”；按一定规律分布在铁心槽内的几个线圈组就连接成一相绕组。

3. 单层与双层绕组

线圈在槽内的布线有两种，每槽只安排一个有效边的称为单层绕组；每槽安排两只线圈各一个有效边(即槽内有两边)的是双层绕组。

4. 总线圈数

一台电机绕组的总线圈数 Q 与布线型式有关。单层绕组每一线圈两有效边各占一槽，而双层绕组则各占半槽。所以

单层绕组　$Q = Z/2$

双层绕组　$Q = Z$

式中，Z 为定子铁心槽数。

5. 极相槽数与每组线圈数

(1) 极相槽数 q 是每极每相绕组所占的槽数。它与绕组型式无关，由下式确定：

$$q = \frac{Z}{2pm}$$

式中　p——电动机绕组的磁极对数，一对磁极包含 N、S 两极；因此常用 $2p$ 表示电动机极数；

m——相数；三相绕组 $m = 3$。

(2) 每组线圈数 S 是一个线圈组含有线圈的数目。但由于显极

式绕组数值上 $S=q$，而庶极布线时极相组数减半，故 $S\neq q$，所以，不同布线形式的绕组，每组包含的线圈数也不相等，如

双层显极式绕组　$S=q=Z/2pm$

双层庶极式绕组　$S=2q=Z/pm$

单层显极式绕组　$S=q/2=Z/4pm$

单层庶极式绕组　$S=q=Z/2pm$

例如，24 槽三相四极电动机，若选用双层显极式布线时，每组线圈数 $S=24/2\times2\times3=2$ 只线圈；当选用双层庶极布线，则 $S=4$；若用单层显极或庶极布线时，则每组分别为 1 只和 2 只线圈。

由于早期的电机产品绕组主要采用双层显极布线，而 $S=q$，常把每组线圈数通称“极相组圈数”，这对双层显极布线在数值上是相等的，但对绕组而言则其含义是不同的。

此外，S 值为分数时也可能构成三相对称绕组，称为分数绕组。

线圈组在绕组图中常用图 2-4 的几种画法。

6. 线圈组数

线圈组数是指一台电机绕组含有线圈组的数目 u，它与绕组类型有关。

显极绕组　$u=2pm$

庶极绕组　$u=pm$

7. 齿距与槽距

齿距是指铁心上相邻两齿中心线的距离；槽距则是相邻两槽中心线的距离。在同一台电机中它们的值是相等的。即

$$t=\frac{\pi D}{Z}$$

式中　t——齿距(或槽距)；

D——定子铁心内径。

8. 电机极距与绕组极距

(1) 电机极距 τ (cm)　是指每一磁极所占铁心圆周表面的

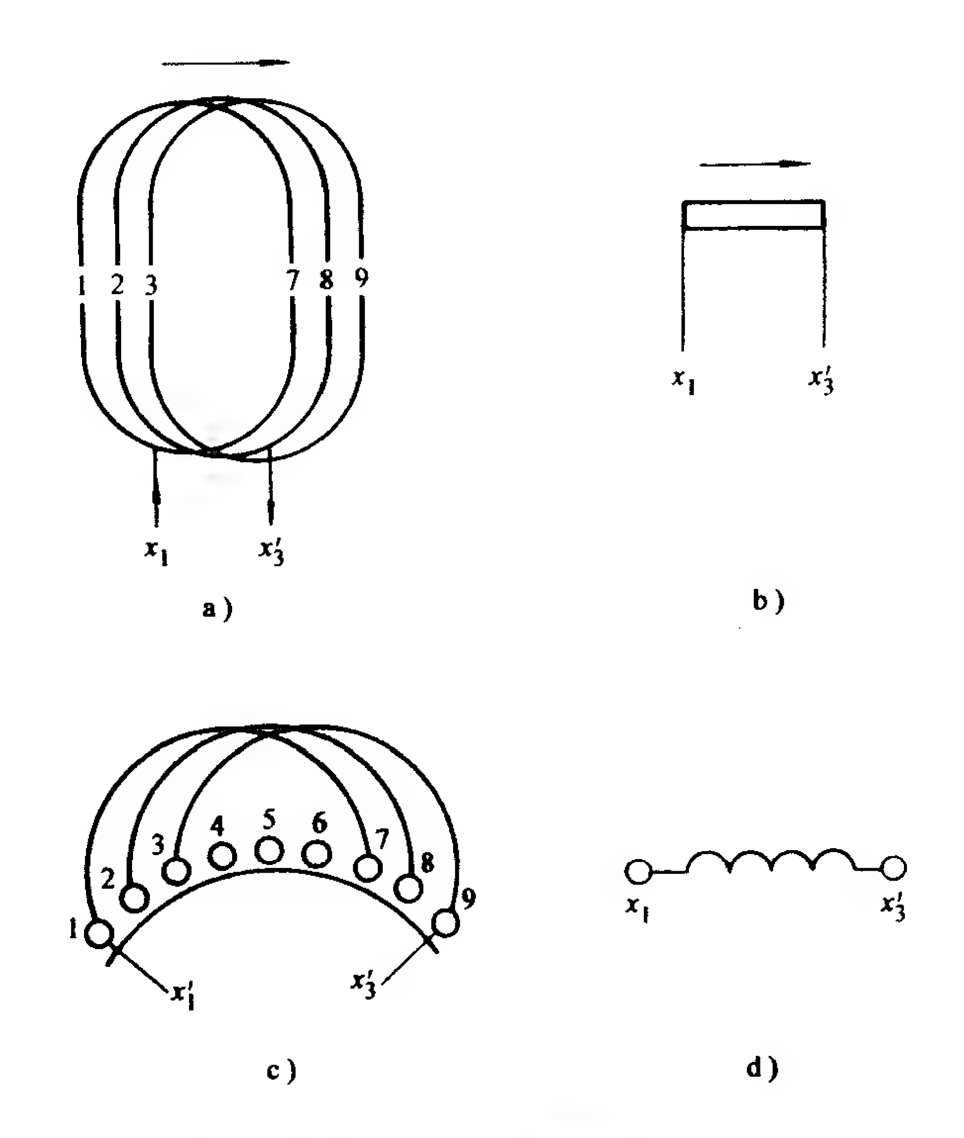


图 2-4　电动机一个极相线圈组的表示画法

a）展开图画法　b）简化接线图画法

c）端面布线图画法　d）原理接线图画法

距离；或是相邻一对磁极中心的距离。用长度表示，由下式确定：

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}$$

（2）绕组极距 τ（槽）　是以绕组线圈槽来表示的每极所占范围。用槽表示，由下式确定：

$$\tau = \frac{Z}{2p}$$

式中　D——定子铁心内径(或转子铁心外径)，cm；

Z——定(转)子槽数；

p——极对数，对极。

9. 节距

节距又称跨距，分线圈节距和绕组节距。

(1) 线圈节距　是指单个线圈两有效边跨占的槽数。如某线圈两有效边分别嵌入第 1 和第 8 槽时，则线圈节距 $y = 7\ (1 \sim 8)$。

(2) 绕组节距和节距系数

1) 单层绕组　单层绕组节距是指同相两个相邻极相线圈组(以槽为单位)的中心跨距。相对于极距而言，分全(整)距绕组和短距绕组，但单层绕组的线圈分布为同一层次，且构成对称绕组时线圈的节距不可随意改变，故无论绕组是否采用短距线圈而使槽间错开，其同相相邻两组线圈的中心距离依然等于极距，故均属全距绕组。

全距绕组每极线圈在电磁变换的效应因素称为节距系数 K_y。一般情况下，单层绕组的节距系数

$$K_y = 1$$

但也有个别特殊例子，如具有断续相带的散布式单层绕组则 $K_y < 1$，不过这种型式的绕组极少应用。

2) 双层绕组　双层绕组主要是指叠式绕组，通常可选用线圈节距小于极距的短距线圈，但也可用等于或大于极距的线圈构成整距或长距绕组。为了改善电机性能并节省线材而采用短距绕组时，相邻两组线圈有效边因节距缩短而出现槽间错开，从绕组整体来说，其极相组间的中心距离并未改变，但由于双层绕组有效边所处层次不同，层间位移所造成的电磁转换效应降低，从而使双层绕组的短距系数 $K_y < 1$，其值与线圈缩短的影响相当，K_y 值可根据线圈节距查表 2-1。

10. 绕组的分布和分布系数

集中绕组嵌绕容易，且具有较高的有效磁势，但性能很差。为了改善电动机性能，使气隙磁势形成近似正弦形的分布，三相电动机采用每极每相绕组安排在几个槽的分布形式，即每极相组由多个线圈组成。如图 2-5a 所示。设线圈节距为极距，当旋转磁

表 2-1　三相异步电动机短距绕组的节距系数 K_y

节距(y)	每极槽数(极距 τ)												
	24	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
1 ~ 25	1.000												
1 ~ 24	0.998												
1 ~ 23	.991												
1 ~ 22	.981												
1 ~ 21	.966												
1 ~ 20	.947												
1 ~ 19	.924	1.000											
1 ~ 18	.897	0.996											
1 ~ 17	.866	.985	1.000										
1 ~ 16	.832	.966	0.995	1.000									
1 ~ 15	.793	.940	.981	0.995	1.000								
1 ~ 14	.752	.906	.956	.978	0.994	1.000							
1 ~ 13	.707	.866	.924	.951	.975	0.993	1.000						
1 ~ 12		.819	.882	.914	.944	.971	0.991	1.000					
1 ~ 11		.766	.831	.866	.901	.935	.966	0.990	1.000				
1 ~ 10		.707	.773	.809	.847	.884	.924	.960	.988	1.000			
1 ~ 9			.707	.743	.782	.838	.866	.910	.951	0.985	1.000		
1 ~ 8				.669	.707	.749	.793	.841	.891	.940	0.981	1.000	
1 ~ 7						.663	.707	.756	.809	.866	.924	0.975	1.000
1 ~ 6								.655	.707	.766	.832	.901	0.966
1 ~ 5										.643	.707	.782	.866
1 ~ 4												.624	.707

场在某瞬间，线圈 2-2′与磁场中心 N-S 极重合时，此线圈切割磁场所感应的电动势为 1，则同组线圈 1-1′和 3-3′所处的位置均偏离磁场中心，其感应电动势自然小于线圈 2-2′。因此，分布的三只线圈合成电动势就小于把三只线圈集中放在同一槽的效果，这个影响因素就称分布系数 K_d。交流电动机绕组分布系数查表 2-2。

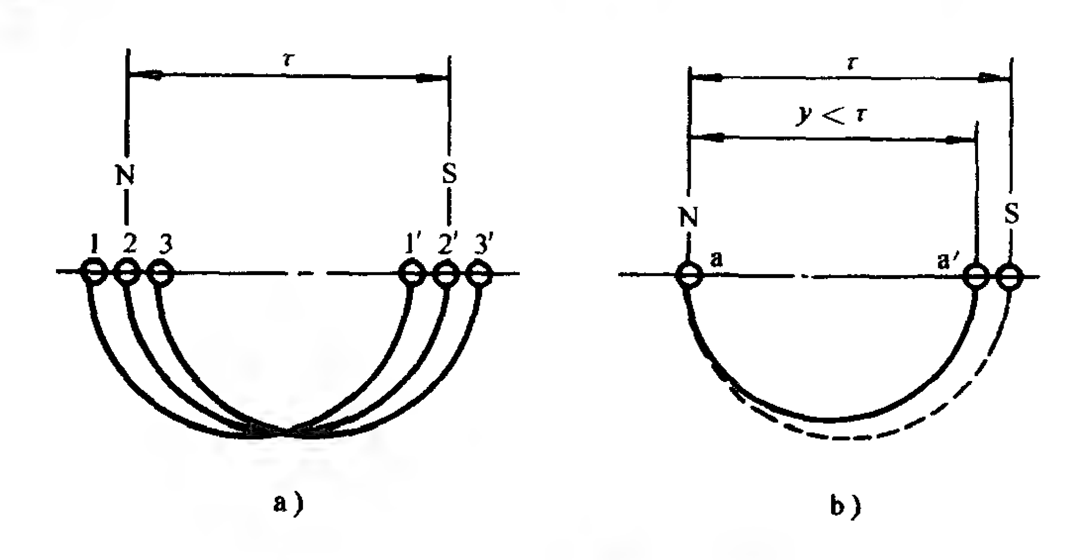


图 2-5 电动机绕组系数分析示意图

a）分布绕组 b）短距绕组

表 2-2 交流电动机绕组分布系数 K_d

每极相槽数 q	1	2	3	4	5	6	7 以上
分布系数 K_d	1.0	0.966	0.96	0.958	0.957	0.956	0.956

若电动机采用分数槽绕组（即每极相槽数 q 为分数）时，可将 q 值化成互为质数的假分数，将假分子代替 q 值，由上表查出 K_d 值。

11. 绕组系数

电机绕组系数是综合线圈分布和节距对电磁转换所产生影响的因素，它等于分布系数与节距系数的乘积，即

$$K_\omega = K_d \cdot K_y$$

绕组系数对重绕电机影响主要体现在磁通密度的变化，例如重绕时将线圈节距改窄则 K_ω 值变小，磁通密度增大；反之，磁通密度就减少。具体影响可参看后面"磁通密度"项内容。然

而，绕组系数的变化毕竟有限，其对运行的影响不会很明显．通常，如出现磁通密度过高，可用增加匝数来弥补；磁通密度过低则适当减少匝数。

12．电动机极数

交流电动机的绕组极数是指通电后形成的磁极数目．用“$2p$”表示。由于磁极是以 N-S 两极成对存在的，所以也常用极对数“p”表示。绕组极数是交流电动机确定转速的重要参数，其关系如下式所示：

$$n_c = \frac{120f}{2p}$$

式中 n_c——交流电动机同步转速(r/min)，即旋转磁场的转速。异步电动机额定转速略低于此值(2～5)%；

$2p$——电动机极数；

f——交流电源频率，Hz。我国供电电源 $f = 50\text{Hz}$。

13．电角度与每槽电角度

电角度是表示转子在磁场中转动角度的量。例如，二极电动机定、转子的相对位置示意如图 2-6 所示，当转子从 N 极 A 点开始旋转，经 S 极时转过 180°电角度，再回到 N 极是 360°电角度；也就是说，每一对磁极具有电角度是 360°。由此可见，定子内圆一周对二极电动机是 360°电角，它与机械角相等，这是特例，但四极则有二对磁极，其内圆一周便是 720°电角。这时可见，电机的电角度并不等同于机械角度。按此可得，电机具有电角度 $\theta°$为

$$\theta° = 360° \times p$$

由于电机的槽是均布于铁心表层，所以，定子每槽所占电角度 α 是

$$\alpha = \frac{360° \times p}{Z} \quad 或\ \alpha = \frac{180° \times 2p}{Z}$$

式中 p——电动机磁极对数；

Z——定子铁心槽数。

【例 2-1】 某六极电动机是 36 槽，请求电机具有的电角度和

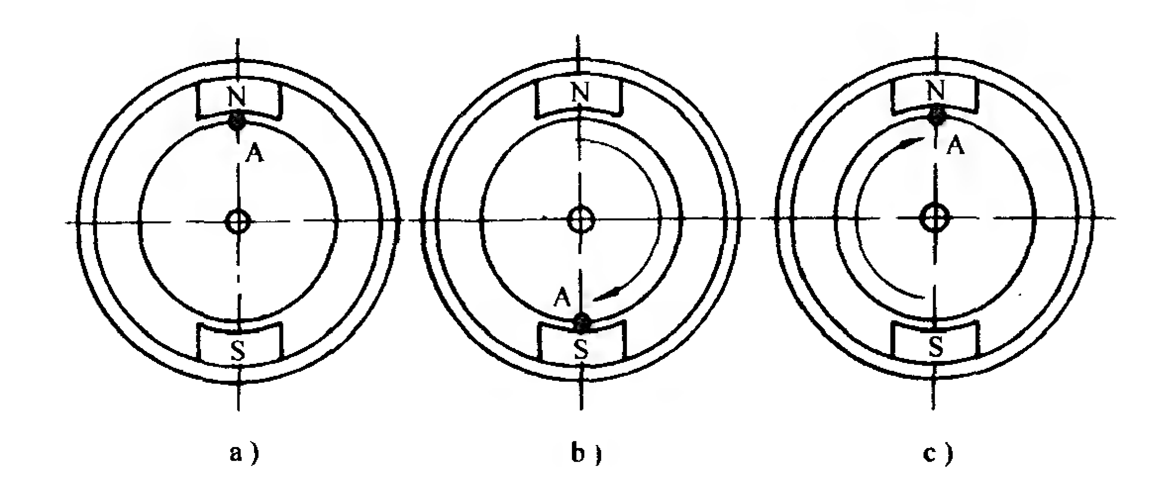


图 2-6　电动机极数与电角度关系示意图

每槽电角度？

此电机具有的电角度是

$\theta° = 360° \times p = 360° \times 3 = 1080°$电角度

每槽电角度是

$$\alpha = \frac{360° \times p}{Z} = \frac{360° \times 3}{36} = 30°\text{电角度}$$

14. 60°相带与120°相带绕组

（1）相带　所谓“相带”，通常是指定子一相绕组在每一极之下包含的宽度，以电角度表示。对三相电动机，它等于每极相槽数所占的电角度，即

$$\alpha_S = \alpha \cdot S = \frac{\alpha Z}{2pm}$$

式中　α_S——相带宽度；

α——每槽电角度，$\alpha = 180° \times 2p/Z$；

S——每(极相)组线圈数。

（2）60°相带绕组　采用整数槽(q = 整数)的显极式绕组及大部分单层布线的庶极式绕组都是60°相带绕组，它是三相单速电动机采用的正规分布形式。例如，图 2-7a 是 24 槽二极双层叠式显极布线的一相绕组，每槽电角度 $\alpha = 180° \times 2p/24 = 15°$电角度，二极绕组每极相圈数 $S = Z/2pm = 24/2 \times 3 = 4$ 槽，绕组相带宽度 $\alpha_S = \alpha \cdot S = 15° \times 4 = 60°$相带。

（3）120°相带绕组

120°相带绕组在单速电动机中极少应用，它的每极相线圈（槽）数所占电角度为120°，主要应用于反向变极电动机的双层绕组，但也可设计成单层的变极绕组。例如，图2-7b是将原二极绕组改接为庶极，使其成为四极，这时，线圈组依旧未变，即每极相线圈数 $S = 2q = Z/pm = 24/2 \times 3 = 4$ 圈（槽）；但每槽 $\alpha = 30°$ 电角度，所以此绕组相带是 $\alpha_S = 30° \times 4 = 120°$ 相带。

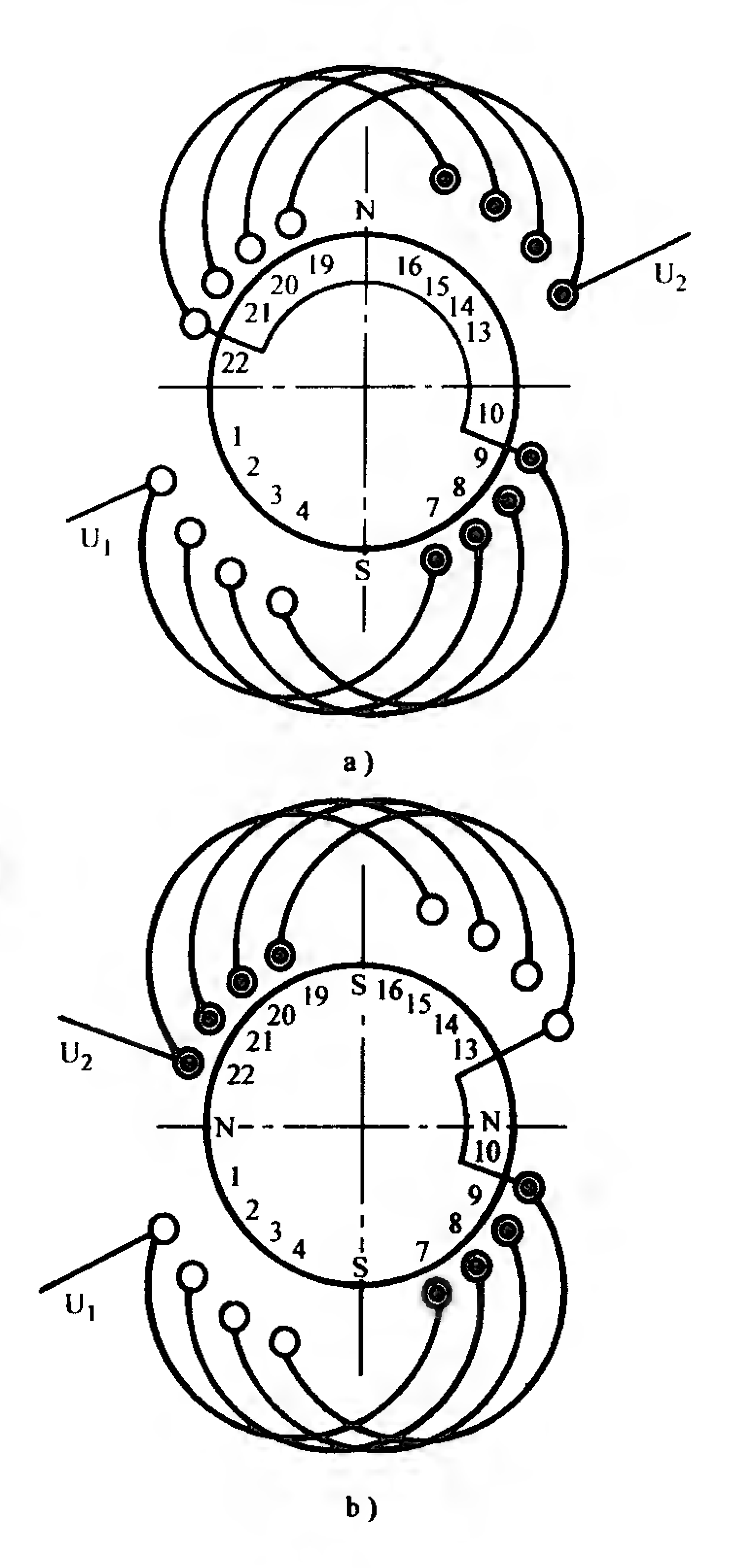


图2-7 三相24槽电机双层绕组相带分析

a）24槽二极一相绕组显极布接线

b）24槽四极一相绕组庶极布接线

15. 线径与并绕根数

线径是指绕制电动机绕组时，根据安全载流量确定的导线直径。一般来说，功率大的电机电流大，所用的导线较粗，当线径过大时将会造成嵌线困难，为此，就用几根细导线代替一根粗导线并行绕制线圈。但是，采用的并绕根数不宜太多，否则，不但增加线圈嵌制困难，线头焊接也耗费工时，甚至还可能影响焊接质量。

在电机重绕修理时，也可能因找不到原来线径的导线选用代换导线。但多根导线并绕时规格不宜过多，最好控制在两种以内，并且，并绕各导线的线径也不宜相差悬殊，以免小截面导线在嵌线时受损，最好选用二根相同截面的导线代换，如不能实现，则尽量采用线径接近的导线。表 2-3 是用二根导线代换的直径参考表。对初学者来说必须注意，导线代替的换算必须与导线的截面积进行比较，如 $2mm^2$ 截面导线可用二根 $1mm^2$ 截面导线代替；绝不能用二根直径 1mm 导线代替一根直径 2mm 的导线。

表 2-3 常用并绕导线直径的代换 (mm)

原导线直径	二根代换导线的直径				
1.12	0.80；0.80	0.80；0.77	0.83；0.74	0.86；0.72	0.90；0.67
1.16	0.83；0.80	0.86；0.77	0.90；0.74	0.90；0.72	0.93；0.64
1.20	0.86；0.83	0.90；0.80	0.93；0.77	0.96；0.72	1.0；0.67
1.25	0.90；0.86	0.93；0.83	0.96；0.80	1.0；0.74	1.04；0.69
1.30	0.93；0.90	1.0；0.83	1.04；0.77	1.08；0.74	1.08；0.72
1.35	0.96；0.96	1.0；0.90	1.04；0.68	1.08；0.80	1.12；0.77
1.40	1.04；0.93	1.08；0.90	1.12；0.83	1.16；0.80	1.16；0.77
1.45	1.04；1.0	1.08；0.96	1.12；0.93	1.16；0.86	1.20；0.83
1.50	1.08；1.04	1.12；1.0	1.16；0.96	1.20；0.90	1.25；0.80
1.56	1.12；1.08	1.16；1.04	1.20；1.0	1.25；0.93	1.30；0.86
1.62	1.16；1.12	1.20；1.08	1.25；1.04	1.30；0.96	1.35；0.90
1.68	1.20；1.16	1.25；1.12	1.30；1.08	1.35；1.0	1.40；0.93
1.74	1.20；1.25	1.30；1.16	1.35；1.12	1.35；1.08	1.40；1.40
1.81	1.30；1.25	1.35；1.20	1.40；1.16	1.45；1.08	1.50；1.0
1.88	1.35；1.30	1.40；1.25	1.45；1.20	1.50；1.16	1.50；1.12

此外，导线换算时，一般很难做到截面积等同代换的，通常要求截面积误差不超过(2～3)%就可以了。可用下式进行校验：

$$\frac{S_n - S_0}{S_0} \times 100\% \leqslant \pm 3\%$$

式中　S_0——需要代换的(一根)粗导线截面积，mm^2；

S_n——选用并绕的 n 根代换导线总截面积，mm^2。

【例 2-2】 重绕电动机原用二根 ϕ0.83mm 导线并绕，今无此规格，拟用 ϕ0.85mm 和 ϕ0.80mm 并绕，是否可行？

原 ϕ0.83mm 导线截面积是

$$S'_0 = \frac{\pi}{4} d^2 = 0.785 d^2 = 0.785 \times 0.83^2 = 0.541 \text{mm}^2$$

二根并绕总截面积

$$S_0 = 2S'_0 = 2 \times 0.541 = 1.082 \text{mm}^2$$

今改用导线截面积可由附录表查得

$$S_1 = 0.567 \text{mm}^2 (\phi 0.85 \text{mm 导线})$$

$$S_2 = 0.503 \text{mm}^2 (\phi 0.80 \text{mm 导线})$$

二根并绕总截面积：

$$S_n = S_1 + S_2 = 0.567 + 0.503 = 1.06 \text{mm}^2$$

因代换导线与原截面积有误差，故代入式中检验：

$$\frac{S_n - S_0}{S_0} \times 100\% = \frac{1.06 - 1.082}{1.082} \times 100\% = -2.03\%$$

代换后的导线截面积误差不超过 ±3%，故可行。

16. 并联支路数

小功率电机因电流较小，每相绕组的线圈均是串联而成，称为一路串联接线。当电机电流很大时，除用多根导线并绕解决外，还可改用并联支路解决。

从本质上来看，改变并联支路数和并绕根数是一样的。比如，原来绕组是一根粗导线绕制线圈，若改用二根并绕，即 $n=2$ 时如图 2-8a 所示，电流是在同一线圈中分流于二根导线，而由两根并绕导线绕成两组线圈 A_1 和 A_2，串联成为一相绕组。当相电压从 U_1—U_2 输入，则一相电流 I 分流为 $I/2$ 从两根导线通过线圈，所以每根导线截面减半，但线圈有效匝数没有改变。

若改用二路并联接线，即 $a=2$，如图 2-8b 所示，原来的两组线圈被接成并联支路，其相电流 I 也是分两路流过，即 A_1 和

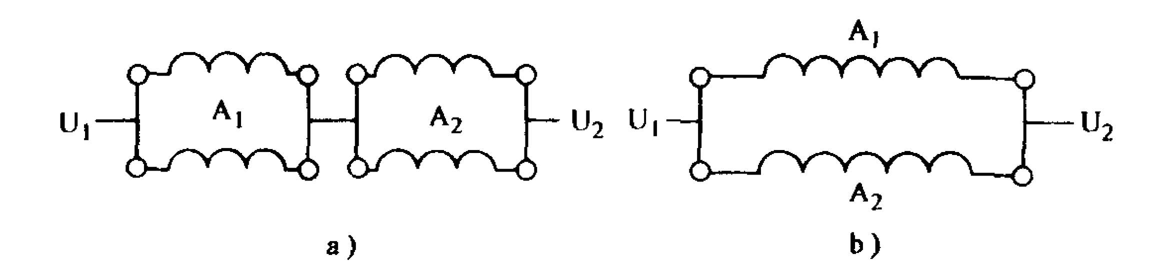


图 2-8 一相绕组的并绕和并联支路示意

a) 并绕 b) 并联

A_2 分别流过电流也是 $I/2$，故其导线截面积也应减半。当并联支路数改变时，导线截面积(mm^2)由下式确定：

$$S=\frac{a_0}{a}S_0$$

式中 S——绕组改变并联支路数后的导线截面积，mm^2；

a——改变后的并联支路数；

S_0——绕组原来导线截面积，mm^2；

a_0——绕组原来并联支路数。

绕组改为并联接法后，如把同样的相电压加在图 2-8b 的 U_1—U_2 端，由于每一并联支路的匝数只有原来的一半，将使铁心磁密增高使电流增大而发热。因此，绕组改变(增加)并联支路后要相应增加线圈匝数

$$\omega=\omega_0\frac{a}{a_0}(\text{匝})$$

式中 ω——绕组改变并联路数后的线圈匝数；

a——改变后的并联支路数；

a_0——绕组原来并联支路数；

ω_0——绕组原来的线圈匝数。

但改变并联支路数时必须注意，一定要保证每一并联支路内的串联线圈(匝数)相等，因此，应满足下列条件：

$$2p/a=\text{整数}$$

否则，拟用的并联支路数不能成立。

【例 2-3】 今有一台六极电动机，原绕组是一路星形接线，原是二根并绕，测得总截面积为 $2.13mm^2$，线圈匝数 $\omega_0 = 16$ 匝，今拟改用三路并联，求新绕组数据。

（1）校验　当绕组改为三路并联时，即 $a = 3$，代入下式检验

$$\frac{2p}{a} = \frac{6}{3} = \text{整数}$$

故改用三路并联成立。

（2）新绕组导线截面积

$$S = \frac{a_0}{a}S_0 = \frac{1}{3} \times 2.13 = 0.71mm^2$$

由附录线规表查得相近标准截面积为 $S = 0.724mm^2$，$d = 0.96mm$。

（3）验算截面积误差

$$\frac{3S - S_0}{S_0} \times 100\% = \frac{3 \times 0.724 - 2.13}{2.13} \times 100\% = 1.97\%$$

所选 $\phi0.96mm$ 导线可用。

（4）改为三路并联后的线圈匝数

$$\omega = \omega_0 \frac{a}{a_0} = 16 \times \frac{3}{1} = 48 \text{ 匝}$$

新绕组仍按原来Y形接线，但支路数由原来的一路串联改为三路并联。

17. 线圈匝数与每槽导线数

（1）线圈匝数　导线在线模上绕一周为一匝，线圈匝数 ω 就是一只线圈在模上绕的周数。

（2）每槽导线圈　是指定子槽内线圈有效边的总线匝数，对单层绕组，每槽导线数 S_Z 等于线圈匝数；对双层绕组则每槽导线数 $S_Z = 2\omega$。它又称每槽导体数，但它不一定等于槽内实际的根数，因采用并绕时，线圈一匝便有几根导线。所以，每槽导线应是有效导线数，即

$$S_Z = \frac{S'_Z}{n}$$

式中　S_Z——每槽(有效)导线数，根/槽；

S'_Z——槽内实际导线根数；

n——线圈并绕根数。

18. 三相绕组的接法

三相电动机绕组常用Y形或△形接法。

(1) Y形接法　又称星形接法。是将三相绕组一同名端(如W_2、U_2、V_2)连接成星点，另一同名端(如U_1、V_1、W_1)作为电源输入端，如图2-9a、c所示。

(2) △形接法　又称角形接法。它将三相绕组不同相的首、尾端循环接成闭合三角形，如图2-9b、d所示，电源则从三个交接点输入。

(3) 三相绕组的相电流、相电压、线电流、线电压　当电动机接通三相额定电压后，从电源线上量得的电流称线电流I_L；流过电动机一相绕组的电流称相电流I_ϕ；从电动机一相绕组两端(如U_1—U_2)测得的电压称为(每)相电压U_ϕ；从两相电源线上测得电压是线电压U_L，如图2-9所示。而电动机的额定电压就是指线电压。

1) Y形接法的电流和电压　三相电动机为Y形接法时，相电流等于线电流；而线电压则是每相电压的$\sqrt{3}$倍。即

$$I_{Y\phi} = I_{YL}$$

$$U_{YL} = \sqrt{3}\,U_{Y\phi}$$

2) △形接法的电流和电压　三相电动机是△形接法时，线电压等于相电压；而线电流则是每相电流的$\sqrt{3}$倍。即

$$U_{\triangle\phi} = U_{\triangle L}$$

$$I_{\triangle L} = \sqrt{3}\,I_{\triangle\phi}$$

因此，有时如果采用多根并绕或多路并联不能获得满意效果时，也可考虑改变绕组的接线方式来变换导线截面积。其重选代

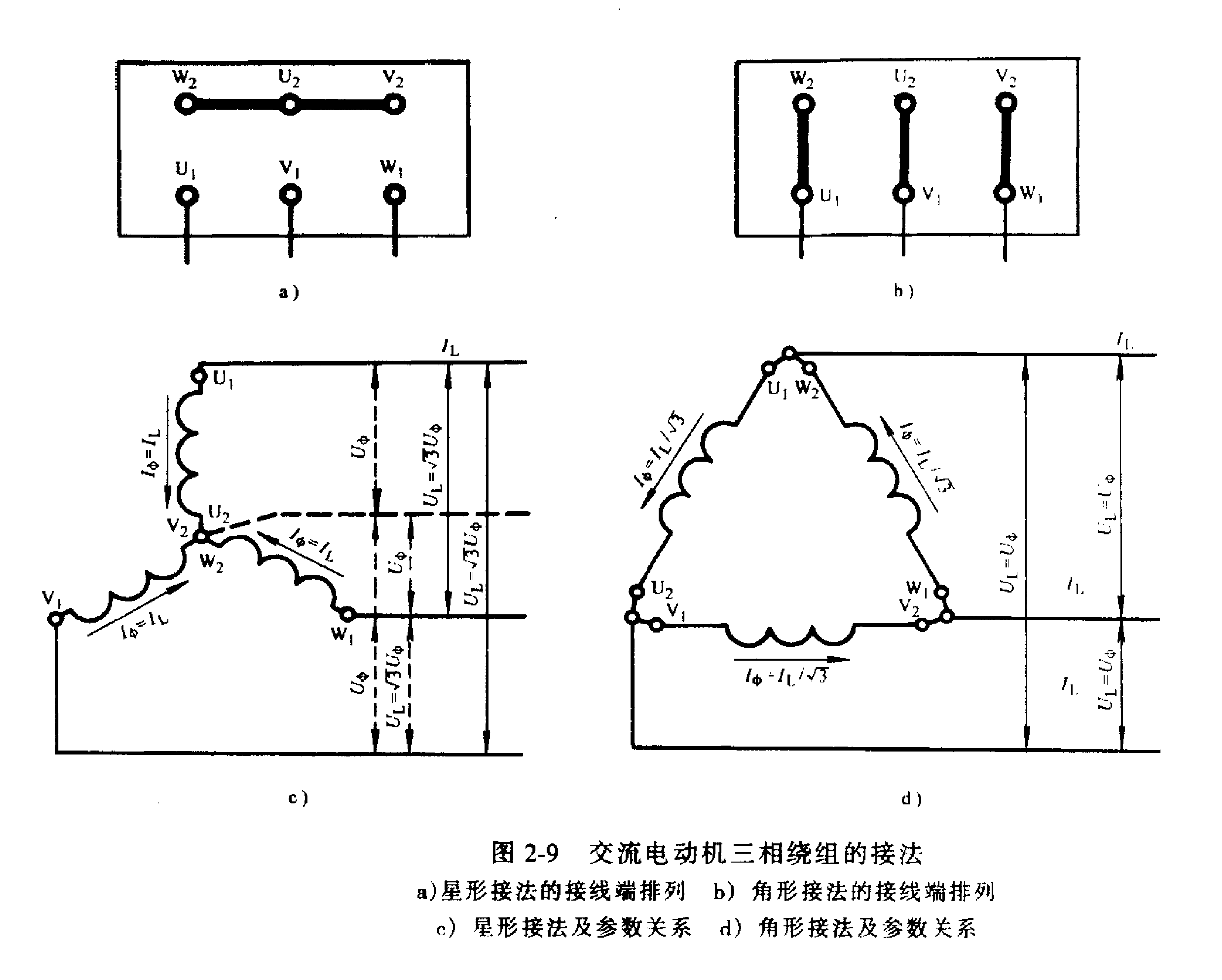


图 2-9 交流电动机三相绕组的接法

a)星形接法的接线端排列 b) 角形接法的接线端排列

c) 星形接法及参数关系 d) 角形接法及参数关系

换导线的前提是在电动机额定功率不变，即线电流及电流密度不变，以采用改变接线，使通过相电流的变化来改变导线的截面积。通常采用的改接方法有两种：

（4） Y形接线改△形的导线截面积换算

它是在改接后保持额定电压(线电压)不变的条件下进行改接换算。因此，必须使改接为△形时的每相绕组串联匝数增加$\sqrt{3}$倍，则绕组型式不改时，每线圈匝数 $\omega_{\triangle}$(匝)也应增加，即

$$\omega_{\triangle}=\sqrt{3}\,\omega_{Y}$$

为使导线电流密度不变，在改为△形接线时的导线截面积(mm^2)应减少$\sqrt{3}$倍。即

$$S_{\triangle}=\frac{S_{Y}}{\sqrt{3}}$$

式中　$\omega_{\triangle}$——绕组改为△形接线时的新线圈匝数，匝；

ω_{Y}——原Y形接线时绕组线圈匝数，匝；

$S_{\triangle}$——绕组改为△形接线时的新线圈导线截面积，mm^2；

S_{Y}——原Y形接线时的线圈导线截面积，mm^2。

（5） △形接线改Y形的导线截面积换算

为保持额定电压(线电压)不变，每相绕组电压必须为原电压的 $1/\sqrt{3}$倍，即绕组型式不变时线圈匝数要减少$\sqrt{3}$倍。这时，

$$\omega_{Y}=\frac{\omega_{\triangle}}{\sqrt{3}}$$

新绕组导线截面积应为

$$S_{Y}=\sqrt{3}\,S_{\triangle}$$

式中　ω_{Y}——绕组改为Y形接线时的新线圈匝数，匝；

$\omega_{\triangle}$——绕组原来△形接线时的线圈匝数，匝；

S_{Y}——绕组改为Y形接线时的新线圈导线截面积，mm^2；

$S_{\triangle}$——绕组原来△形接法时的导线截面积，mm^2。

改变绕组接线方式的换算是在保持原来绕组型式，且不改变并联支路数及并绕根数的条件下进行的，如需改变原绕组的其它

因素，必须用上法换算后，再行换算。

【例 2-4】 重绕电动机绕组是二路并联星形接法，单层绕组线圈 25 匝，原用导线直径是 $\phi1.25$mm，拟改用较细线径，试选导线。

由线规表查得 $\phi1.25$mm 导线截面积是 1.227mm^2。

1）拟用二根并绕试算

每根导线截面积

$$S=\frac{S_0}{n}=\frac{1.227}{2}=0.613\text{mm}^2$$

查线规表得最接近的标准导线是 $\phi0.90$mm，截面积是 0.636mm^2。

二根并绕导线总截面积是

$$S_1=0.636\times2=1.272\text{mm}^2$$

校验换算误差

$$\frac{S_1-S_0}{S_0}\times100\%=\frac{1.272-1.227}{1.227}\times100\%=3.66\%$$

所选导线截面积误差超过 +3%，故不能采用，今拟改变接线重选。

2）拟将原星形接线改为角形，则新导线截面积

$$S_\triangle=\frac{S_Y}{\sqrt{3}}=\frac{1.227}{1.73}=0.709\text{mm}^2$$

查线规表得最接近截面积为 0.709mm^2，标准线径 $\phi0.95$mm。

所选新导线无误差，可用。

改为角形接线后，线圈匝数为

$$\omega_\triangle=\sqrt{3}\omega_Y=1.73\times25=43.25\text{ 匝}$$

选 $\omega_\triangle=43$ 匝。并保持原绕组型式及二路并联不变，改用角形接线后，线圈用 $\phi0.95$mm 导线绕制。

三、电动机性能调整有关的技术参数

1. 额定电流与空载电流

电动机的额定电流是指在输入额定电压时输出额定功率(即带满载负荷)时的三相定子绕组线电流，通常可由简化公式估算：

$$I_N = 810\frac{P_N}{U_N} \tag{2-1}$$

式中　I_N——三相电动机额定电流，A；

P_N——三相电动机额定功率，kW；

U_N——三相电动机额定电压，V。

电动机空载电流又称励磁电流，是在不带任何负载时，定子施加三相正弦交流额定电压，所测得的线电流则是空载电流。普通三相异步电动机的空载电流可从产品技术资料中查阅；重绕电动机空载电流大小对工作性能有一定影响，它与电动机结构及绕组参数关系表示如下：

$$I_0 \approx \frac{\Phi R_m}{W} \tag{2-2}$$

式中　W——每相绕组串联匝数(匝/相)，由下式计算：

$$W = \frac{ZS_Z}{2ma}$$

Z——电机槽数；

S_Z——每槽(有效)导线数，根/槽；

m——相数；

a——每相绕组并联支路数；

Φ——每极总磁通，W_b；

$$\Phi = 0.67\tau LB_g \times 10^{-4}$$

τ——极距(cm)，$\tau = 3.14D/2p$；

L——铁心长度，cm；

B_g——气隙磁密，T；

R_m——电动机磁路磁阻。

2. 电动机效率

电动机功率分输入功率和输出功率。输入功率是电动机工作时从电网吸取的总功率；输出功率是带负载运行的功率，因此，若电动机在额定条件下运行则是额定功率。从电能输入到机械能输出的过程中，由于摩擦等机械因素和电磁转换等因素会造成部

分能量损耗，所以输出必定小于输入，其比率就是效率

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

3. 短路电压

又称堵转电压。是将电动机轴堵住不转，定子绕组接电流表，通入可调交流电源，调节电压，使电流等于电动机额定电流，这时输入定子的电压称为短路电压 U_k，其值不宜过大，它与 I_0 是一对矛盾的参数。

4. 额定转矩

异步电动机在额定条件下运行时，转轴所获得的电磁转矩称额定转矩(N·m)。

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} \tag{2-3}$$

式中 T_N——电动机额定转矩，N·m；

P_N——电动机额定功率，kW；

n_N——电动机额定转速，r/min。

对已知型号的电动机，其转矩是定值，可从有关资料中查得。因此，对一般负载而言，如生产机械选用电动机的额定功率足够时，它的转矩也能满足负载运行；但对一些如皮带运输机等要求高转矩起动的特殊负载，为了满足转矩要求而选用额定功率比实际功率大，甚至大数倍的电动机。

5. 起动转矩

将转子堵住不动，定子加额定电压时，转子与旋转磁场作用产生的力所形成的转矩称为起动转矩 T_c。它是衡量电动机带负载起动时有没有“力”的标准。通常用额定转矩的倍数值来表示，所以又称“起动转矩倍数”或“堵转转矩倍数”。Y系列电动机起动转矩倍数约为1.4～2.2，小电机可达到2.0以上，其起动转矩一般都较老系列大，故起动时显得特别有“力”。

对于重绕修理的电动机，转子参数不变，T_c 与选用的气隙磁密 B_g 有密切关系，即 T_c 随 B_g 值的平方而减少。

6. 最大转矩

最大转矩 T_m 常用额定转矩的倍数来表示，它是表明电动机承受短时过载的能力。因此，T_m 值大则电动机能克服较大的短时过载，并保持平稳地运转；否则，电动机就可能被迫减速甚至停转。所以它是衡量电动机工作时“有力”或“无力”的标准。一般 Y 系列电动机的过载能力较大，通常都达到 2.0~2.2。

它与电动机匝数有间接关系，即匝数多漏抗大，最大转矩 T_m 便减少。

7. 磁通密度

单位面积通过磁通的量称为磁通密度 B，简称磁密。磁密的单位是“特斯拉”，代号“T”。即每 1cm² 面积通过 10^4 磁力线为 1T。电机各部位磁通密度要求不同，在调整中主要校核的磁密要求如表 2-4 所示。

表 2-4 Y 系列三相异步电动机主要部位磁密控制值 (T)

系列		Y (IP44)			Y (IP23)
		H80~112	H132~160	H180 以上	
气隙磁密	B_g	0.6~0.73	0.59~0.75	0.57~0.8	0.73~0.86
定子齿部	B_t	1.48~1.54	1.45~1.53	1.4~1.54	1.50~1.59
定子轭部	B_c	1.2~1.23	1.0~1.4	1.1~1.45	1.20~1.57

(1) 气隙磁密　气密 B_g 是指电机定、转子之间的气隙磁密，它是按定子铁心内腔表面计算的。电机实际气隙磁密(T)由下式计算：

$$B_g = \frac{64.5 K_E U}{W K_\omega \tau L} \tag{2-4}$$

式中 K_E——压降系数，$K_E = 0.88 \sim 0.97$，一般功率大、极数少者取较大值；

U——电动机绕组相电压，V；

W——每相绕组串联匝数；

K_ω——电动机绕组系数；

L——定子铁心长度，cm；

τ——定子极距，cm。

气隙磁通密度是重绕电动机性能参数调整的关键，其值的选取除直接影响绕组匝数外，还会左右其它部位的磁通密度。

（2）定子齿部磁密　定子每极磁通穿过气隙之后便经定子铁心齿部再到铁心轭部。每极磁通在齿部的单位密度即是齿部磁密B_t。由于结构所限，每极槽齿的截面积远小于每极气隙，故齿部磁密都高于气隙磁密；而且，槽齿的每极面积与极数有关，即同一定子绕制二极电机的极距要比绕制四极时大一倍，所以，对多极数电机，其齿部磁密就显得较紧张；反之对少极数则较宽松。电动机齿部磁通是由主磁通决定的，其值与 B_g 有密切关系。

$$B_t = \frac{B_g t}{0.93 b_t} \tag{2-5}$$

式中　B_t——定子齿部磁密，T；

t——定子齿距（槽距），cm；

b_t——齿宽，按定子槽齿最窄部位测得，cm。

（3）定子轭部磁密　每极磁通通过定子轭部的单位密度称为轭部磁密 B_c。当气隙磁密选定后，主磁通则为定值，对多极数定子，由于极距小，每极所占槽齿也少，通过轭部的磁通量相对也少，故多极数电动机定子的轭部通常设计得较窄；反之，极数少（如二极）定子的极面宽（即极距大），当 B_g 不变时，经槽齿通过轭部的磁通量就大，为了满足磁通密度不致超标，其轭部也较高。电动机实际的轭部磁密（T）由下式确定：

$$B_c = \frac{0.37 \tau B_g}{h_c} \tag{2-6}$$

式中　B_c——定子轭部磁密，T；

h_c——定子铁心轭高，即从槽底到定子铁心外径的尺寸，cm。

四、三相绕组类型与基本结构

三相异步电动机的绕组种类很多，结构变化也复杂。例如，

在 24 槽铁心定子上安排三相四极绕组时，每极相槽数 $q = Z/2pm = 24/4 \times 3 = 2$ 槽；绕组极距 $\tau = Z/2p = 24/4 = 6$ 槽。当采用不同结构的安排形式可获得不同型式的绕组。图 2-10 是三相 24 槽四极电机的一相线圈采用不同安排所构成的基本结构。

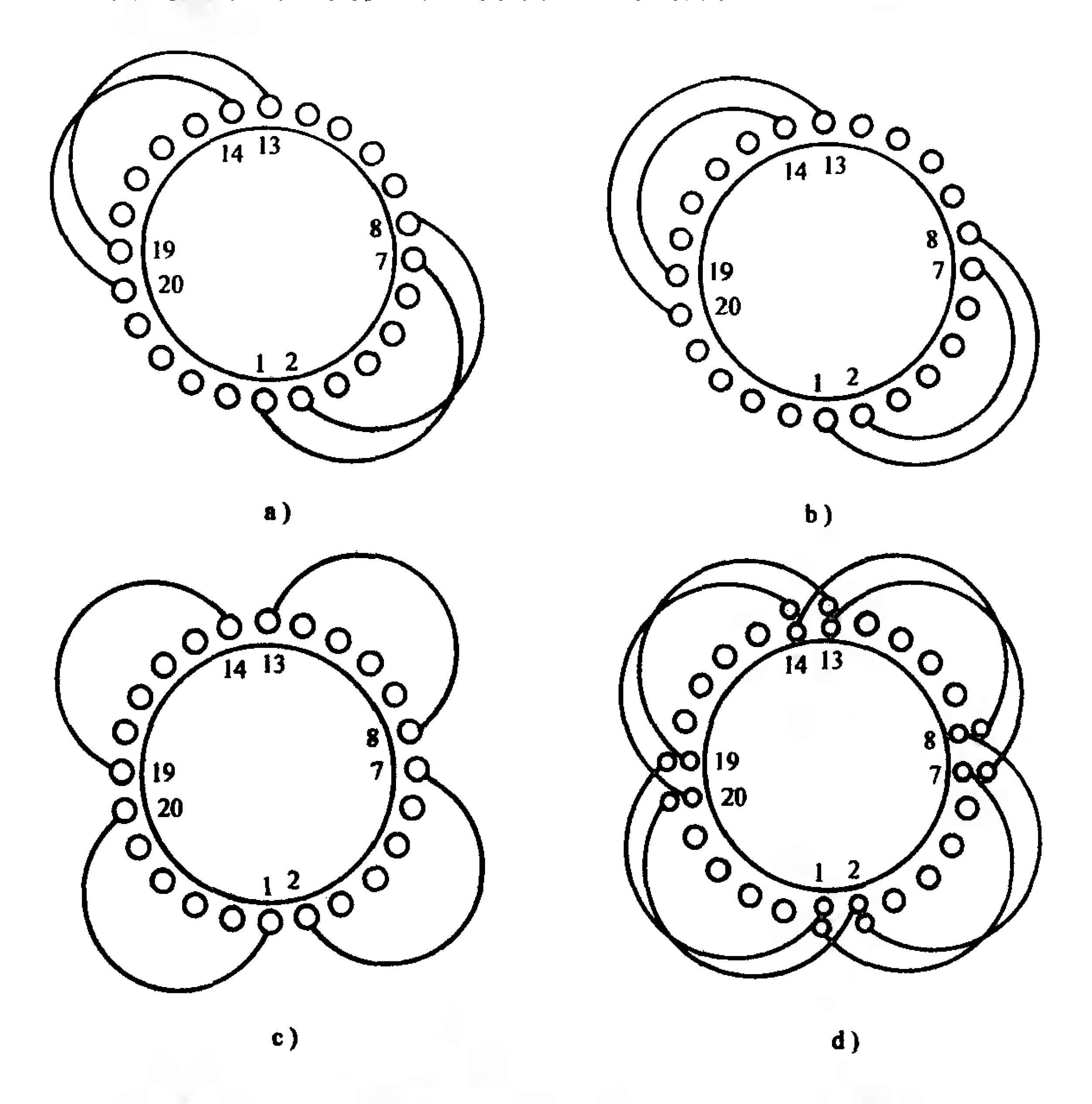


图 2-10　三相 24 槽四极电机一相绕组分布形式示意图

a）单层全距（$y = \tau = 6$）交叠线圈庶极安排

b）单层全距（$\tau = 6$）同心线圈庶极安排

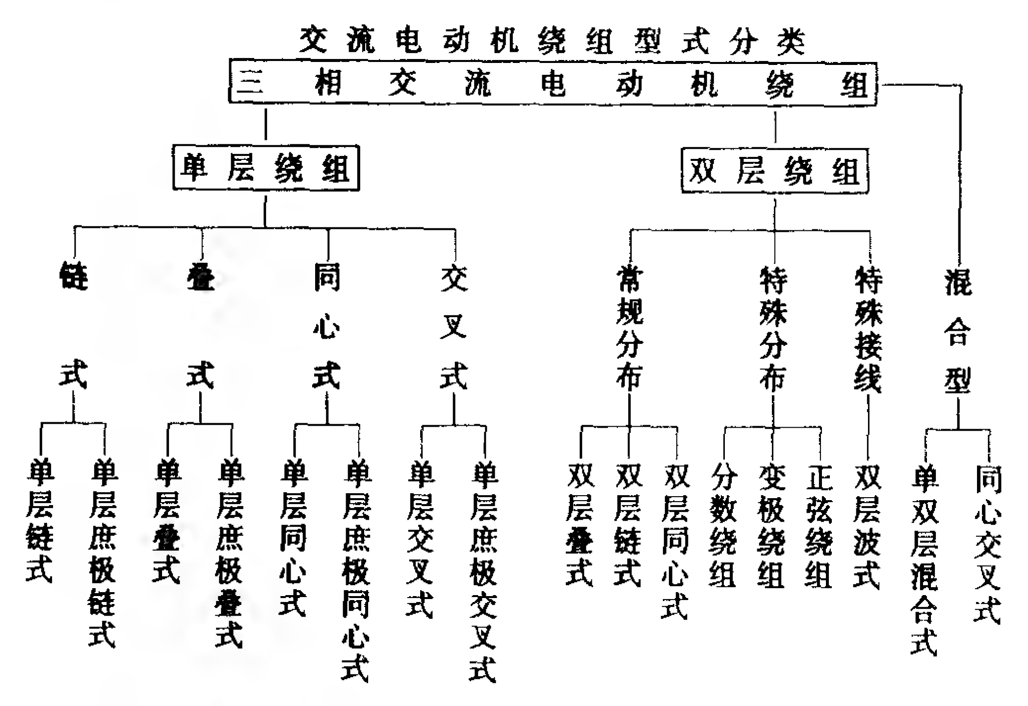
c）单层全距（$\tau = 6$）缩短线圈（$y = 5$）显极安排

d）双层全距（$\tau = 6$）交叠线圈显极安排

图 2-10a 是采用单层布线、等节距线圈，使一组线圈有效边安排在 1-7 和 2-8 槽；另一组线圈则在 13-19 和 14-20 槽，每组线圈

呈交叠状，由于两组线圈是分离的，并相距一个极距，且四极只有二组线圈，故属庶极式绕组。若保持线圈各槽位不变而改变线圈组端部的形式，使跨槽变为 1-8、2-7 和 13-20、14-19，便得如图 2-10b 所示的具有同心线圈组的庶极式绕组。如需构成显极式绕组，可将两组线圈进行分解，如图 1-10c 所示，把线圈节距缩短，并采用等距布线，保持原来线圈的槽位，使线圈跨槽为2-7、8-13、14-19、20-1，使四只线圈各自为一组，从而构成线圈组数等于极数的显极绕组。这时，虽然每只线圈节距($y=5$)都比极距($\tau=6$)缩短了一槽，但绕组各槽位电动势并未有改变，故仍属全距绕组。还可以安排双层绕组，即把每槽匝数分成两半，把原来一相 4 线圈改制成 8 只线圈，每线圈两有效边分布于两槽的上、下层，如槽 1 (下层)-7 (上层)、2 (下层)-8 (上层)、7 (下层)-13 (上层)…，如图 2-10d 所示。电动机绕组型式有十余种，但基本以上述四种安排形式演变而成，具体型式与特点将在后面详细介绍。

三相交流电动机常用绕组的种类、型式归纳如下：



五、三相单层绕组

虽然绕组在定子铁心的安排是多种多样的，但它们必须遵循某些规律，并满足下列基本要求。

(1) 每相绕组的槽数必须相等，即每相串联线圈数相等；

(2) 三相绕组在空间应相隔 120°电角度对称分布；

(3) 各相并联支路数相等，且电阻、感抗也相等；

(4) 绕组在构成条件内选用较短节距，以便减少用铜量；

(5) 绕组应有良好的电气性能及工艺性能。

(一) 三相单层链式绕组

1. 绕组的构成与接线

单链绕组是显极式布线，每极相线圈组只有一只线圈，展开后的三相绕组如链相扣而得名。

单链绕组的布线源于图 2-10c 的安排，例如三相 24 槽四极电动机一相绕组布接线如图 2-11 所示。图 b 是模拟电机端面的画法，假设电流从 U_1 流入线圈有效边 2，经线圈从(有效)边 7 流出，则表示为 $2—\overline{7}$；再从 13 入而 8 出，则表示为 $13—\overline{8}$；同理得 $14—\overline{19}$；$1—\overline{20}$，最后从 U_2 流出。如果将定子 1、2 号槽之间沿轴线剖开再摊平便得图 2-11a 的展开图。由图可见，2、8、14、20 槽的出线分别为四只线圈的首端，7、13、19、1 槽分别为尾端，从而得出如下规律：

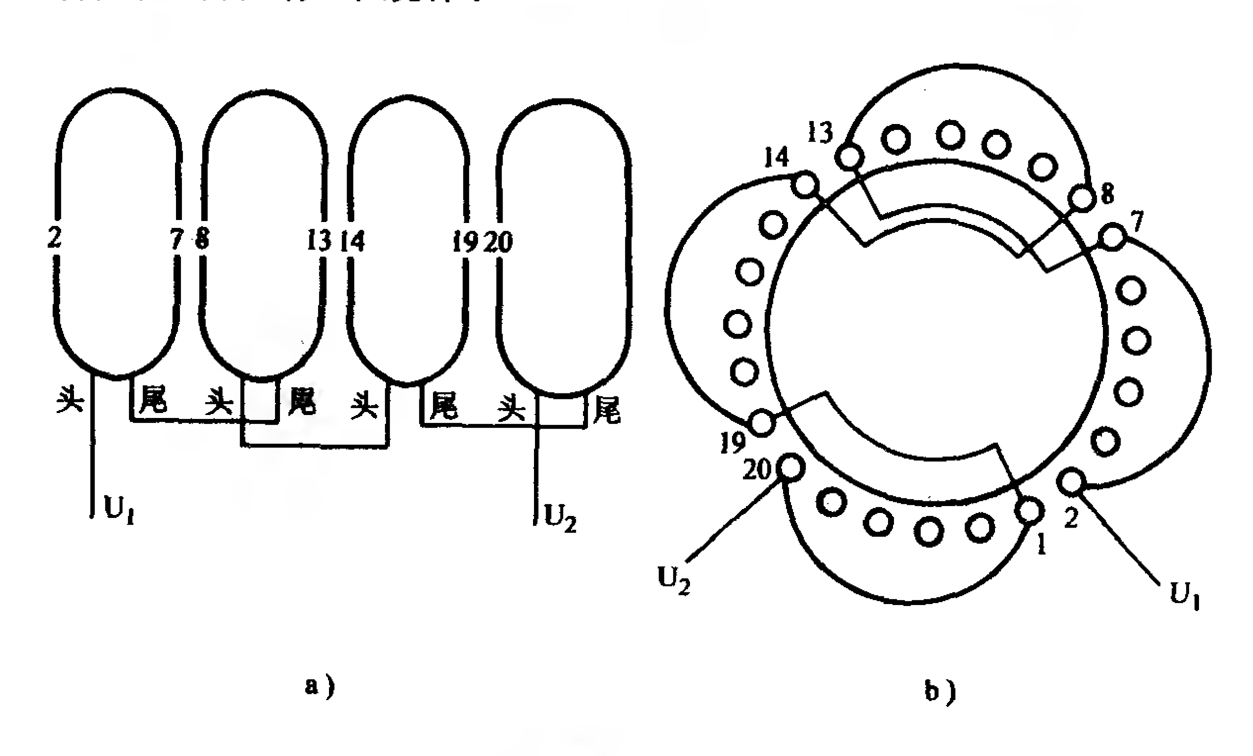


图 2-11 三相 24 槽四极单层链式一相绕组

a) 展开图 b) 端面图

单链绕组一相中，相邻极相线圈(组)间的极性要相反，故其接线是“尾接尾”或“头接头”的反接串联。这种接法又称作显极接法。三相电动机其余二相接法与此相同，不同的仅是互差120°电角度的槽位，三相绕组的排列接线展开如图 2-12 所示。如果将 24 槽四极单链绕组每相减去两线圈，如图 2-13 所示，便得二极单链绕组。同理，在四极绕组中再增加两只线圈，可构成六极(36 槽)单链绕组。

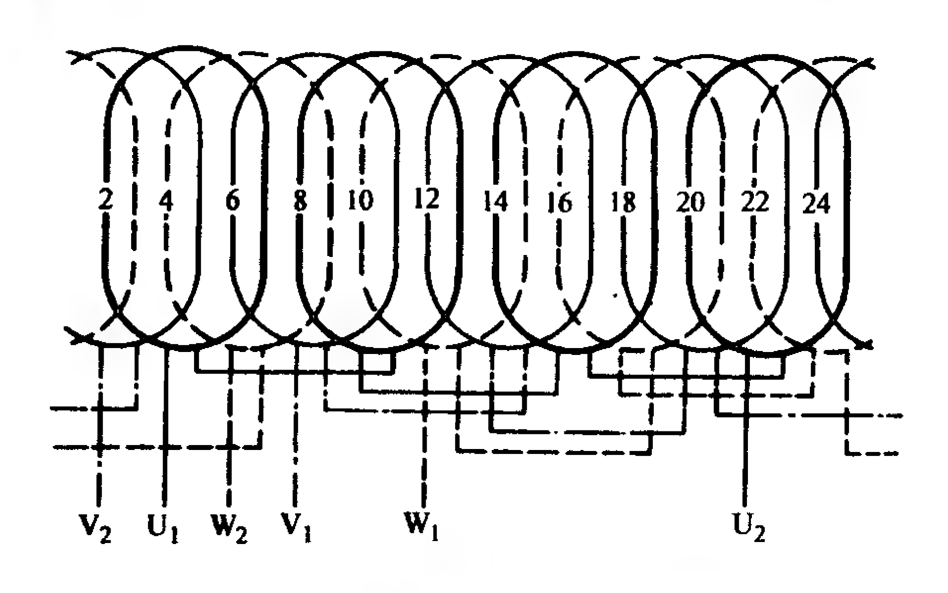


图 2-12　三相 24 槽四极单链绕组展开图

2. 绕组的结构特征

(1) 每组只有一只线圈，即极相组线圈数 $S=1$；

(2) 每极相槽数 $q=2$，故同相相邻两槽线圈边的极性相同(即电流方向相同)，但归属于不同的极相组，故安排相邻两线圈呈反折状；

(3) 一相极相组(线圈)数目等于极数，即是显极布线；三相绕组端部形成三平面结构；

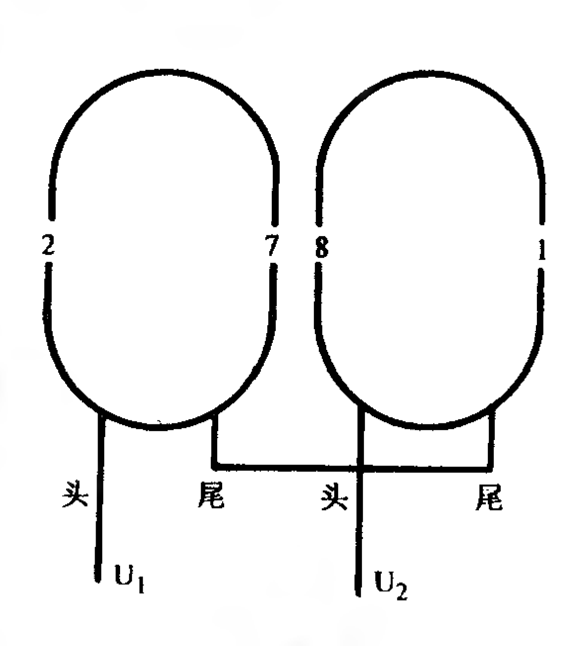


图 2-13　二极(12 槽)单链(一相)绕组

(4) 采用等节距线圈；线圈

节距 $y=5$；

（5）同相相邻两线圈极性相反，故线圈（组）间连接为反向串联。

3. 绕组工艺、性能特点

（1）每组只有一只线圈，可以简化嵌绕工艺，采用一相绕组连绕连嵌，省去接线工序，提高修理工效；

（2）单链绕组是采用短距线圈的全距绕组，在三相绕组中的线圈平均节距最短，故用线较省；

（3）槽满率较高；

（4）在单层绕组中属工艺性和电气性能较好的绕组型式，故在小电机中广泛应用；

（5）由于结构所限，只有 $q=2$ 才能构成单链绕组。

此外，单链绕组还可用庶极布线构成单层庶极链式绕组，其应用虽较少，但在一些特殊场合仍有实用。如图 2-14 就是应用于汽车发电机的 30 槽十极单层庶极链式绕组。由图可见，其结构形状与显极相似，不同的是：

1）构成一相绕组的线圈数，只有极数的一半；三相绕组端部形成双平面结构；

2）一相绕组中，相邻两线圈隔开约一极距，且接线是顺接串联，即“尾与头”相接；

3）线圈节距 $y=3$。

（二）三相单层叠式绕组

1. 绕组的构成

单层叠式简称单叠绕组，因其端部形成交叠状而得名。它有两种布线形式。

（1）显极式布线　如果将单链绕组的 q 值增加一倍，即 $q=4$，则 $S=2$，每组有两只线圈，其安排便如图 2-10a 所示，构成一相绕组（如图 2-15）。

（2）庶极式布线　假设电流从图 2-11a 的 U_1 端流入，并设流入有效边为正（不标示），流出边为负（标示“－”号），则各槽极

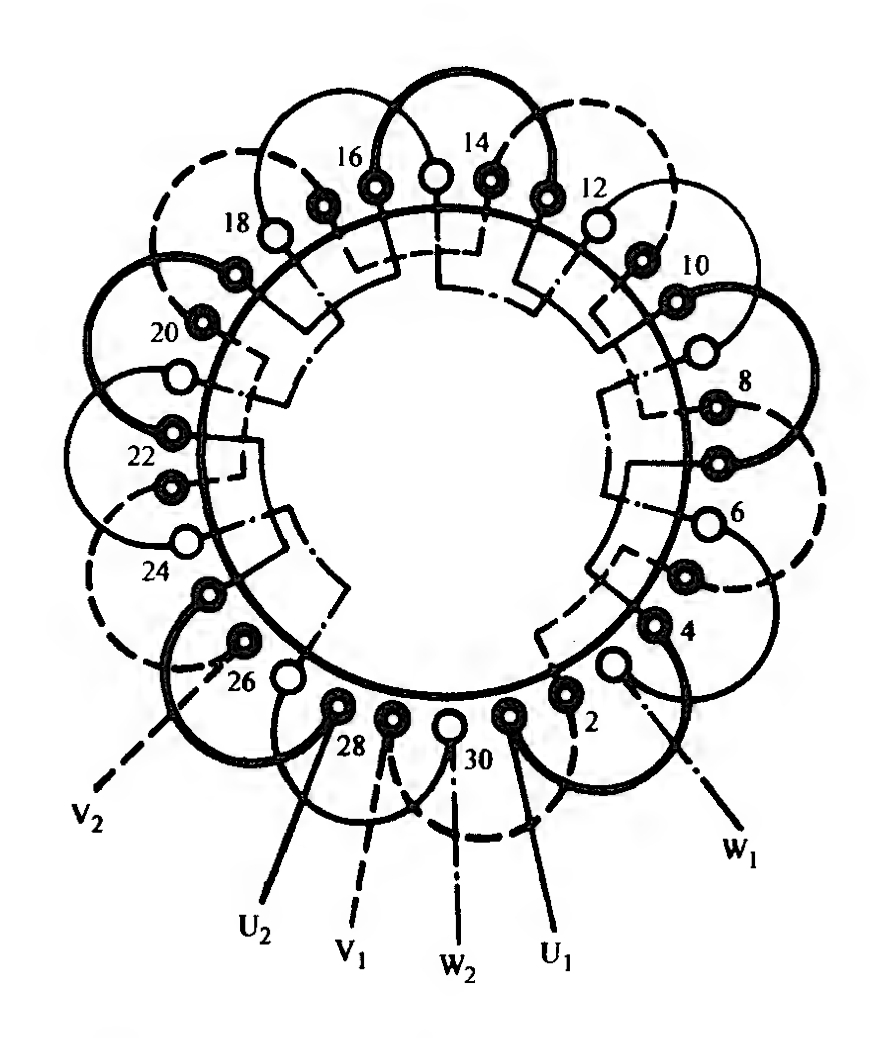


图 2-14　三相 30 槽十极单层庶极链式绕组

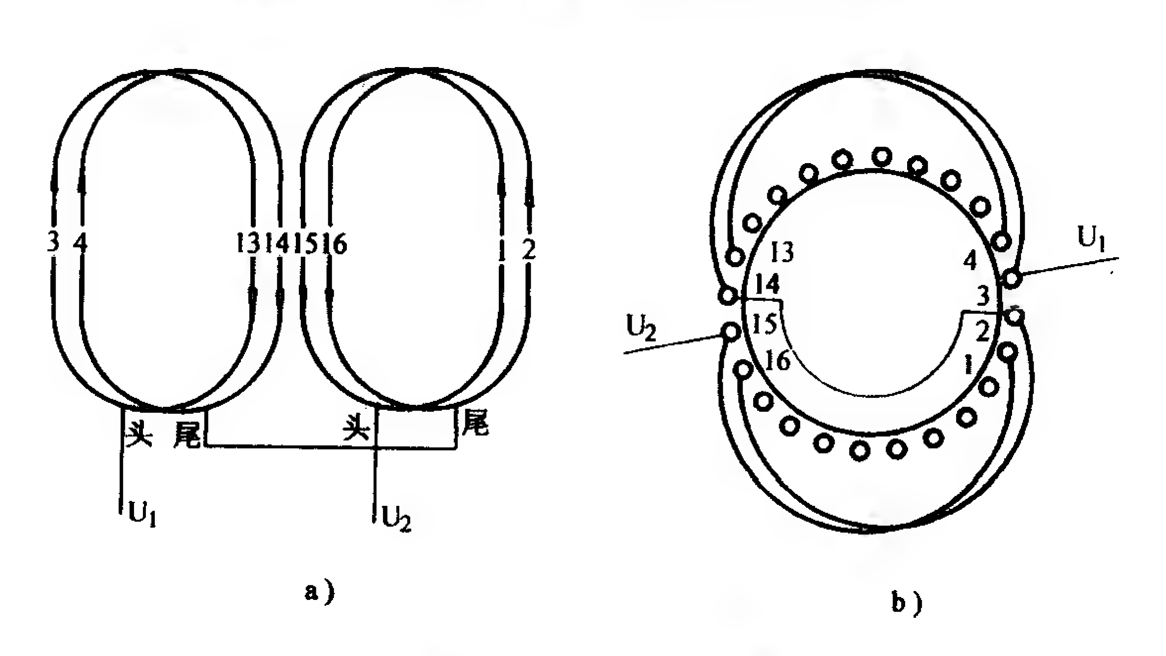


图 2-15　三相 24 槽二极单层(显极)叠式一相绕组

a) 展开图　b) 端面图

性：2、13、14、1 为正；$\overline{7}$、$\overline{8}$、$\overline{19}$、$\overline{20}$为负。若保持各槽极性不变，而改变各槽有效边的连接端部方位，同样可得出 24 槽四极，如图 2-16 的单层庶极叠式一相绕组展开图和端面布线图 2-17。它的三相绕组展开如图 2-18 所示。

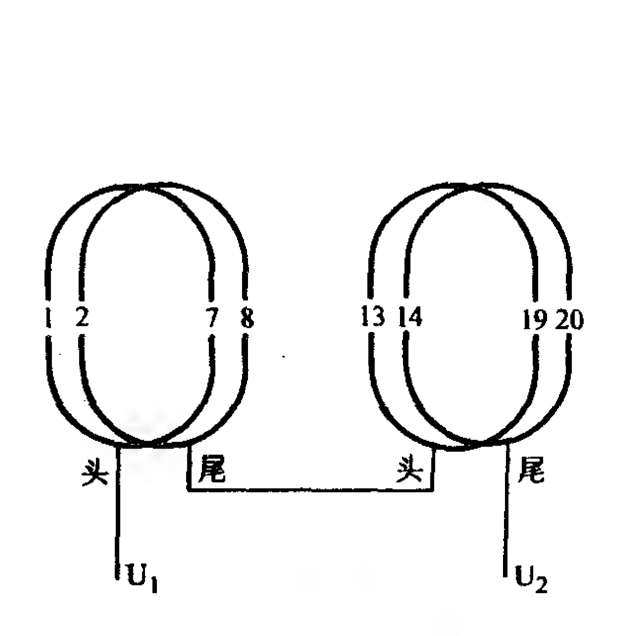


图 2-16　三相 24 槽四极单层叠式庶极布线一相绕组展开图

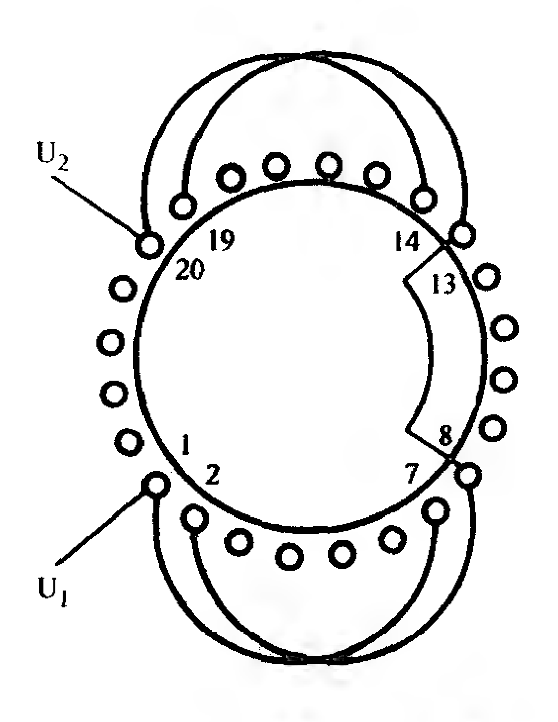


图 2-17　三相 24 槽四极单层叠式庶极布线的一相绕组端面布线图

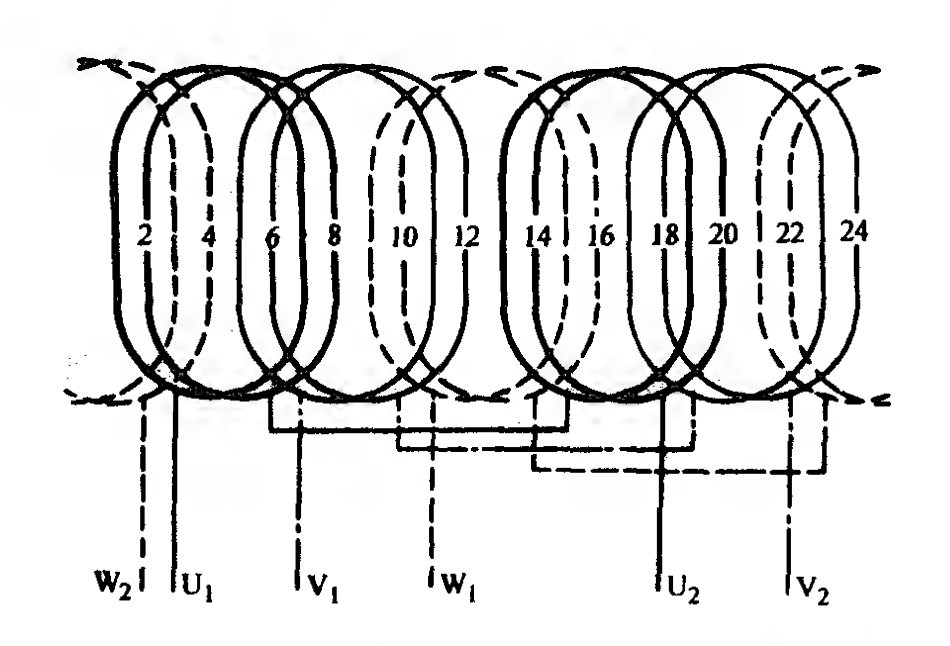


图 2-18　三相 24 槽四极单层叠式庶极布线绕组展开图

2. 单叠绕组的接线

(1) 显极式布线时同相相邻线圈边电流方向是同向的，即应使相邻两线圈极性相反，故接线是反接串联，即“尾与尾”或“头与头”相接。

(2) 庶极式布线时同相相邻两线圈是相隔的，要求电流极性相同，故接线是顺接串联，即“尾与头”相接。

3. 绕组的结构特征

(1) 单叠(显极)绕组

1) 单叠绕组的每极相槽数必须是 $q \geqslant 4$ 的偶数，故每组线圈数 $S=2$ 以上的整数；

2) 每组线圈数必须相等，各线圈节距也相等，线圈节距 $y=\tau-S$；

3) 同相两组线圈紧邻，且向两边反折；每相由 $2p$ 个线圈组构成；每组线圈数 $S=q/2$。

(2) 单叠庶极绕组

1) 单叠庶极绕组每极相槽数是 $q \geqslant 2$ 的偶数，但每组线圈数仍是 $S=2$ 以上的整数；

2) 每组线圈数也必须相等，各线圈节距也相等，但线圈节距为 $y=\tau$；

3) 同相相邻两组线圈相隔$(2q+1)$槽；每相线圈组数是 p；每组线圈数 $S=q$。

4. 绕组工艺、性能特点

(1) 线圈为等距，全部线圈可用同一规格线模绕制；

(2) 采用显极绕组时，线圈节距短于极距，但仍属全距绕组，较省线材；

(3) 单层绕组线圈数目少，嵌线较省时，但电气性能较差。

(三) 三相单层同心式绕组

1. 绕组的构成

(1) 显极式布线　三相单层同心式绕组是由单叠绕组演变而成，如将图 2-15 线圈组的端部形式改变，便构成图 2-19 所示的单层显极布线的同心式绕组，三相绕组的布线接线参考图 2-45；二路并联布接线则如图 2-20 所示。

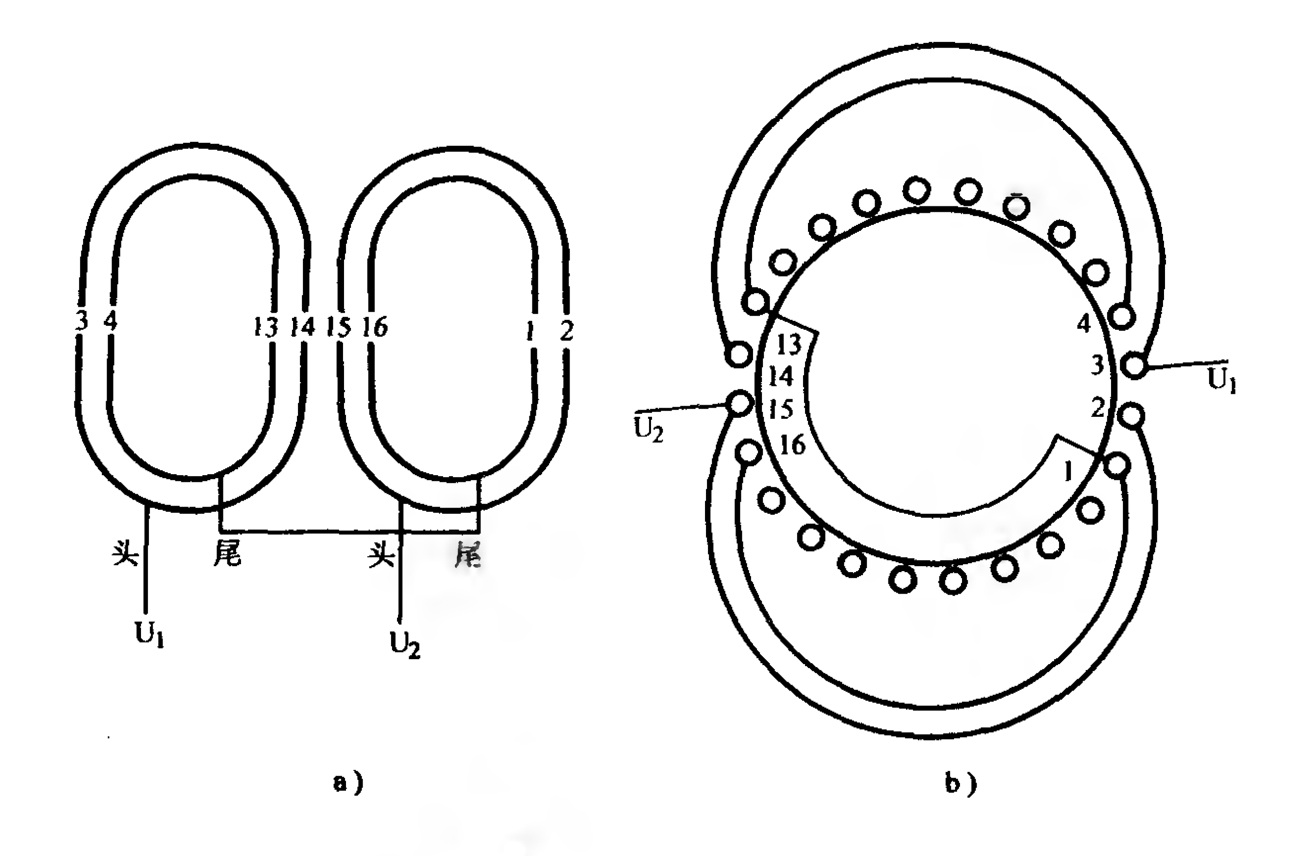


图 2-19　三相 24 槽二极单层同心式一相绕组显极布线
a) 展开图　b) 部分端部图

（2）庶极式布线　单层同心庶极绕组是根据图 2-10b 的安排形式构成。由于是庶极式，同相相邻两线圈组相距一个极距布线，如图 2-21 所示。

三相庶极绕组的展开图及简化接线图则如图 2-22 所示。

2. 同心式绕组的接线

同心式绕组的组内线圈仍是顺接串联(在端面图及展开图中采用简化画法而没有将此连线画出)，使同组相邻两槽有效边产生的极性(电流方向)相同。而组间的连接则与单叠绕组相同，即

1）显极绕组　相邻线圈组极性相反，即同相组间连接是“尾与尾”、“头与头”相接；

2）庶极绕组　同相相邻线圈组极性相同，即接线是“尾与头”相接。

3. 绕组的结构特征

（1）绕组特征

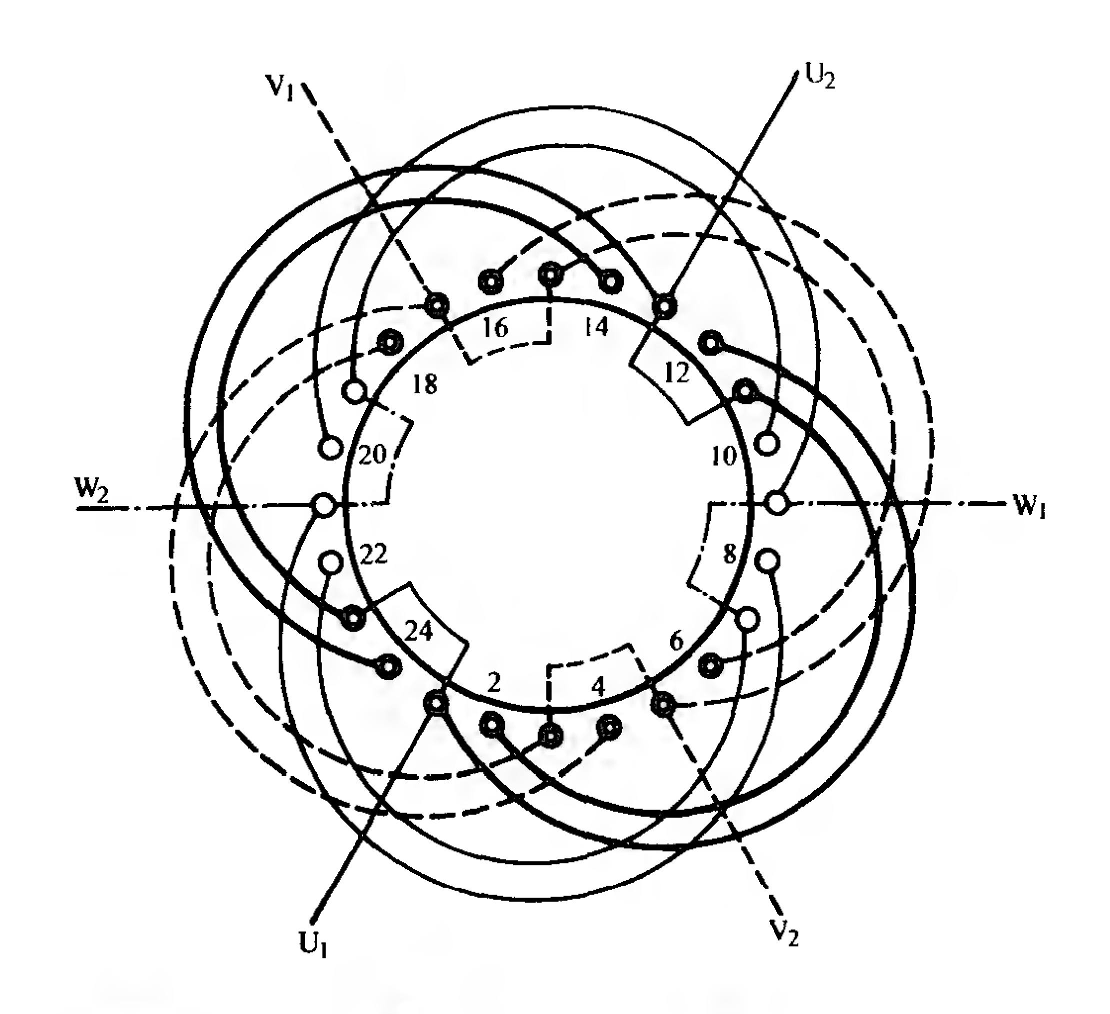


图 2-20 三相 24 槽二极单层同心式二路并联绕组布接线

1）同心式绕组是由中心线重合、不等节距的大小线圈，组合成“回”字形的线圈组构成；

2）同心线圈组必须由两只以上线圈组成，且每组线圈数相等；

（2）线圈分布 同心式绕组较多采用庶极布线，这时，每相有 p 个线圈组；同相组间线圈组相互隔开，而每组线圈数 $S=q$；显极布线时每极相槽数 q 必须是偶数，每相有 $2p$ 个线圈组，同相组间线

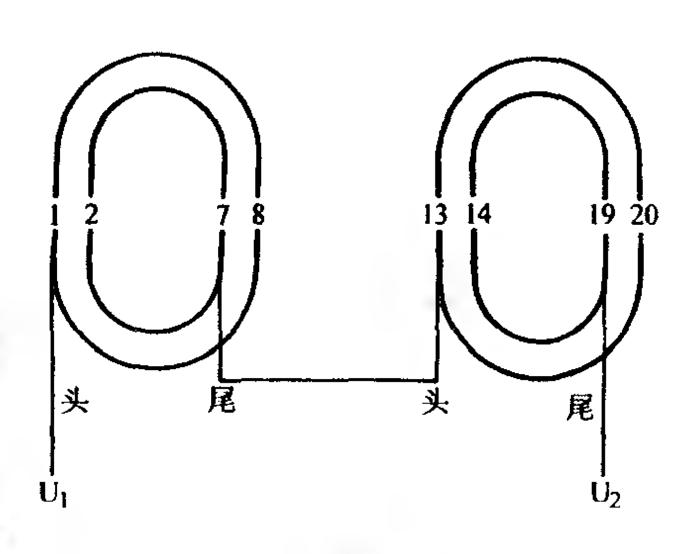
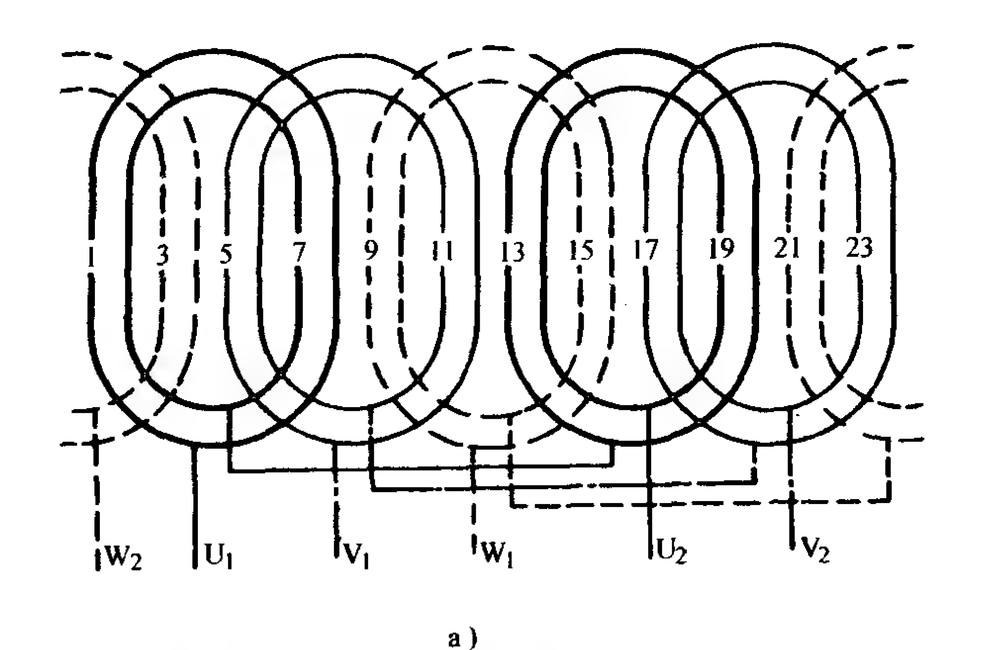
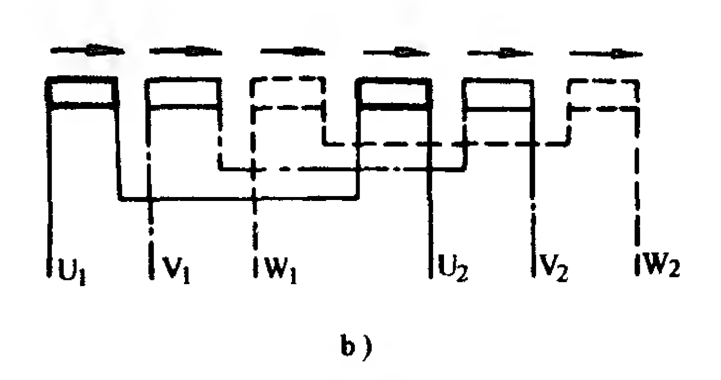


图 2-21 三相 24 槽四极庶极同心式一相绕组展开图



a）



b）

图 2-22　三相 24 槽四极庶极同心式绕组

a）展开图　b）简化接线图

圈相邻分布，每组线圈数 $S = q/2$。

（3）线圈节距　单层同心式绕组是全距绕组，但组内线圈节距不等，相邻节距相差 2 槽，各线圈节距

$$y_1 = 2q + 1$$

$$y_2 = y_1 + 2$$

$$y_3 = y_2 + 2$$

$$y_4 = y_3 + 2$$

式中　y_1——同心线圈组中最小线圈的节距，槽；

q——每极相槽数，槽。

4．绕组工艺、性能特点

(1) 绕组采用单层布线，有较高的槽满率；

(2) 绕组端部长度长，不但耗费线材，而且增加漏磁，使电机性能较差；

(3) 线圈组端部安排呈平面，宜用整嵌法嵌线，故操作工艺比较方便；

(4) 同心式绕组可用交叠法或整嵌法布线，但由于二极电机线圈节距大，通常采用不用吊边的整嵌法；

(5) 当采用整嵌法布线时，庶极绕组是分层嵌线而形成“双平面”绕组；显极绕组则是分相嵌线，其端部呈“三平面”分布。

(四) 三相单层交叉式绕组

单层交叉式绕组是单层叠式绕组的特殊形式，它是由大小联线圈组交替分布，故称交叉式绕组，其实质属单层布线的分数绕组。

1. 绕组的构成

交叉式绕组的排列方法与叠式相同，但由于每组线圈数 S 为带 1/2 的分数，需把两组中的分数线圈并为一整圈，归到一线圈组，从而形成大小联(单、双圈或二、三圈)交替分布。例如，将前面的图 2-15 双圈组改为单、双圈结构便得如图 2-23 的交叉式绕组基本结构。如果增加两组线圈(槽数也相应增加)便构成如图 2-24 所示的单层交叉式四极绕组。

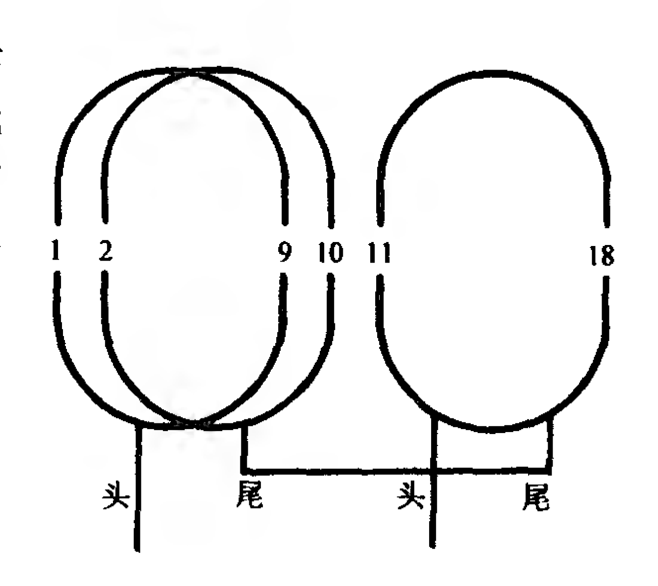


图 2-23 三相二极单层交叉式一相绕组示例

单层交叉式通常是指显极绕组，此外还有庶极布线的，因其应用极少，本书不作介绍。

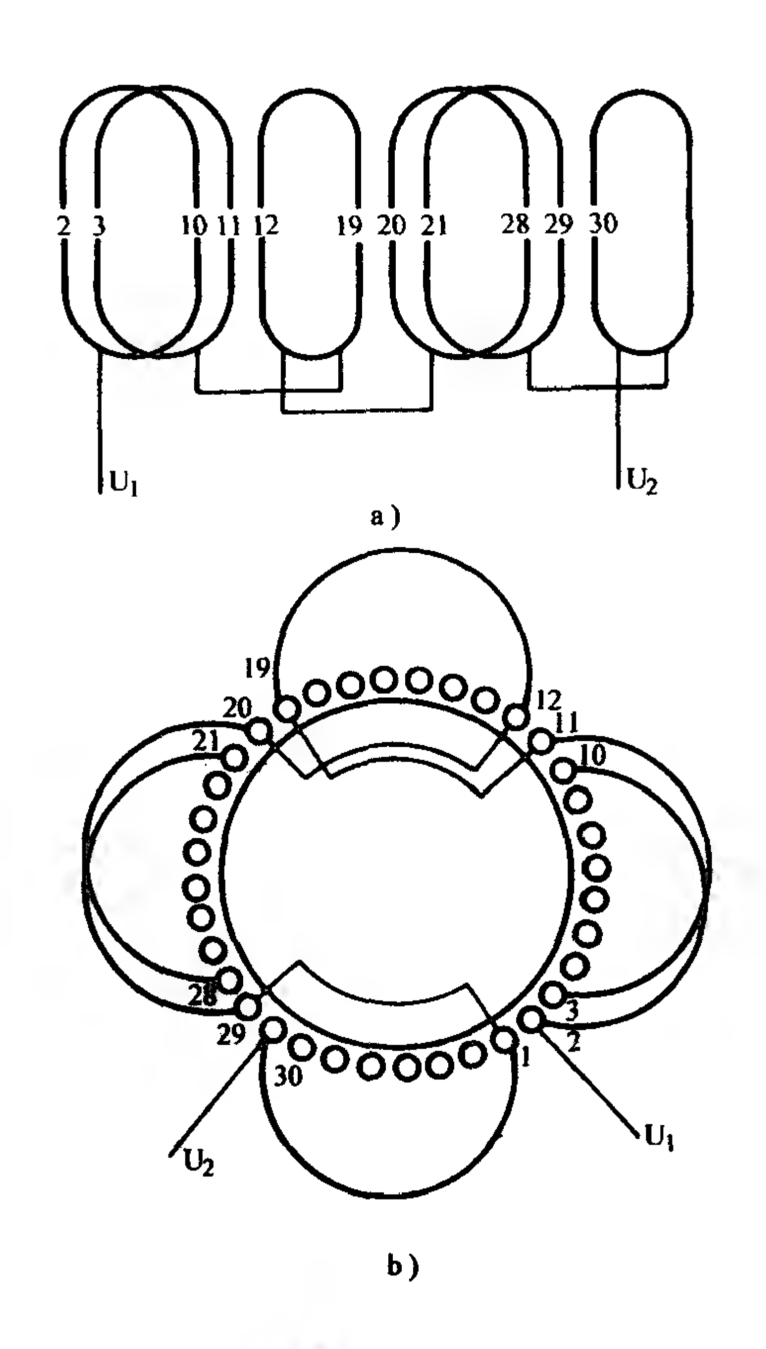


图 2-24　三相 36 槽四极单层交叉式一相绕组

a) 展开图　b) 端面布线图

2. 交叉式绕组的接线

本书所述均系显极绕组，故同相相邻线圈组极性必须相反，连接时是反接串联，即接线规律是“尾接尾”或“头接头”，如图 2-24 所示。

3. 绕组的结构特征

（1）绕组采用显极布线，同相两组线圈相邻紧靠，且出槽后向两边反折；

（2）每极相槽数 $q>2$ 的奇数，绕组由大小线圈组构成：

大联线圈数　$S_d = S + 1/2$

小联线圈数　$S_x = S - 1/2$

式中　S——单层显极绕组每组线圈数

$$S = Z/4pm$$

(3) 交叉绕组的布线型式及节距

1) 不等距交叉式　绕组由节距不等的大、小联线圈组构成，如图 2-25 所示。它采用显极布线，它应用普遍，是交叉式绕组通常所指的型式。大、小联的线圈节距由下式确定：

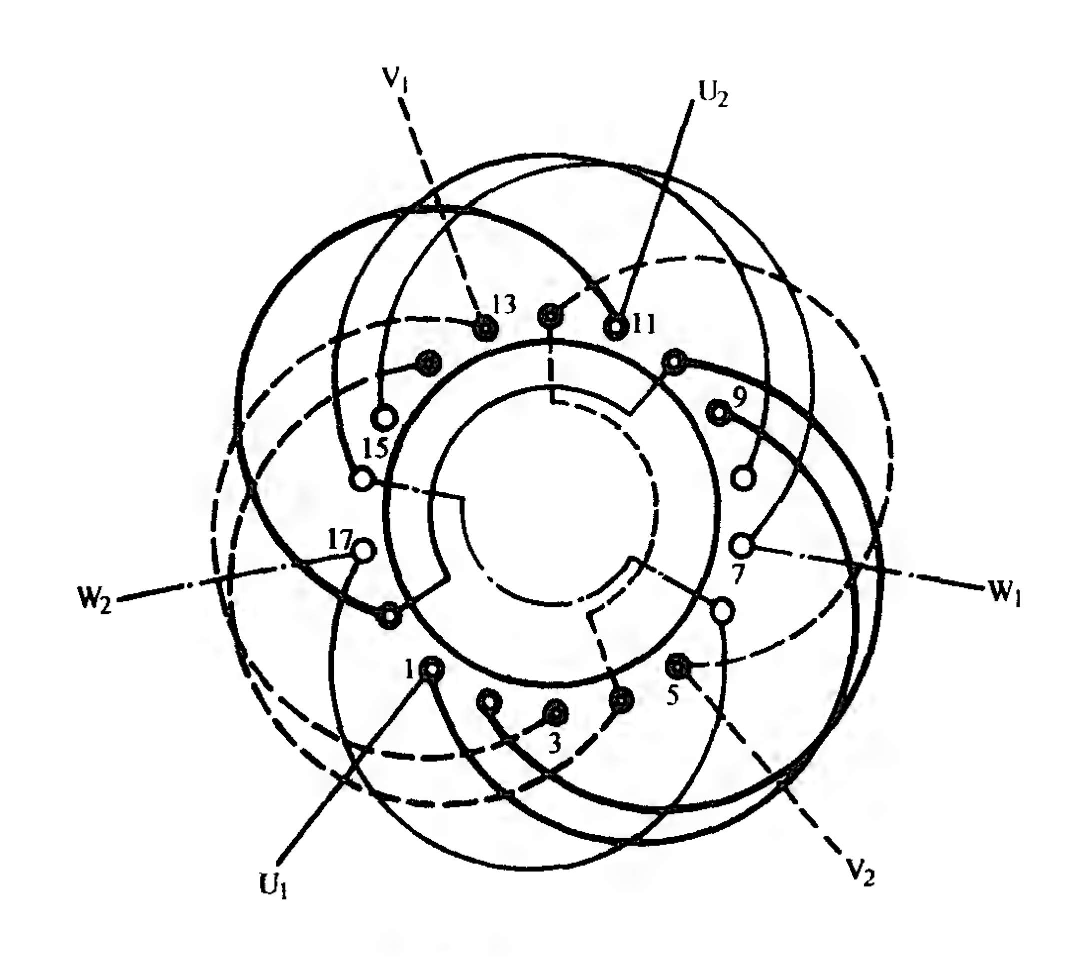


图 2-25　三相 18 槽二极单层(不等距)交叉式绕组

小联线圈节距　$y_x = 2q + (S - 1/2)$

大联线圈节距　$y_d = y_x + 1$

2) 长等距交叉式　绕组的线圈节距相等，但较上例节距长，即

$$y = \tau$$

此型式绕组也是显极布线，但应用较少，其布、接线如图2-26 所示。

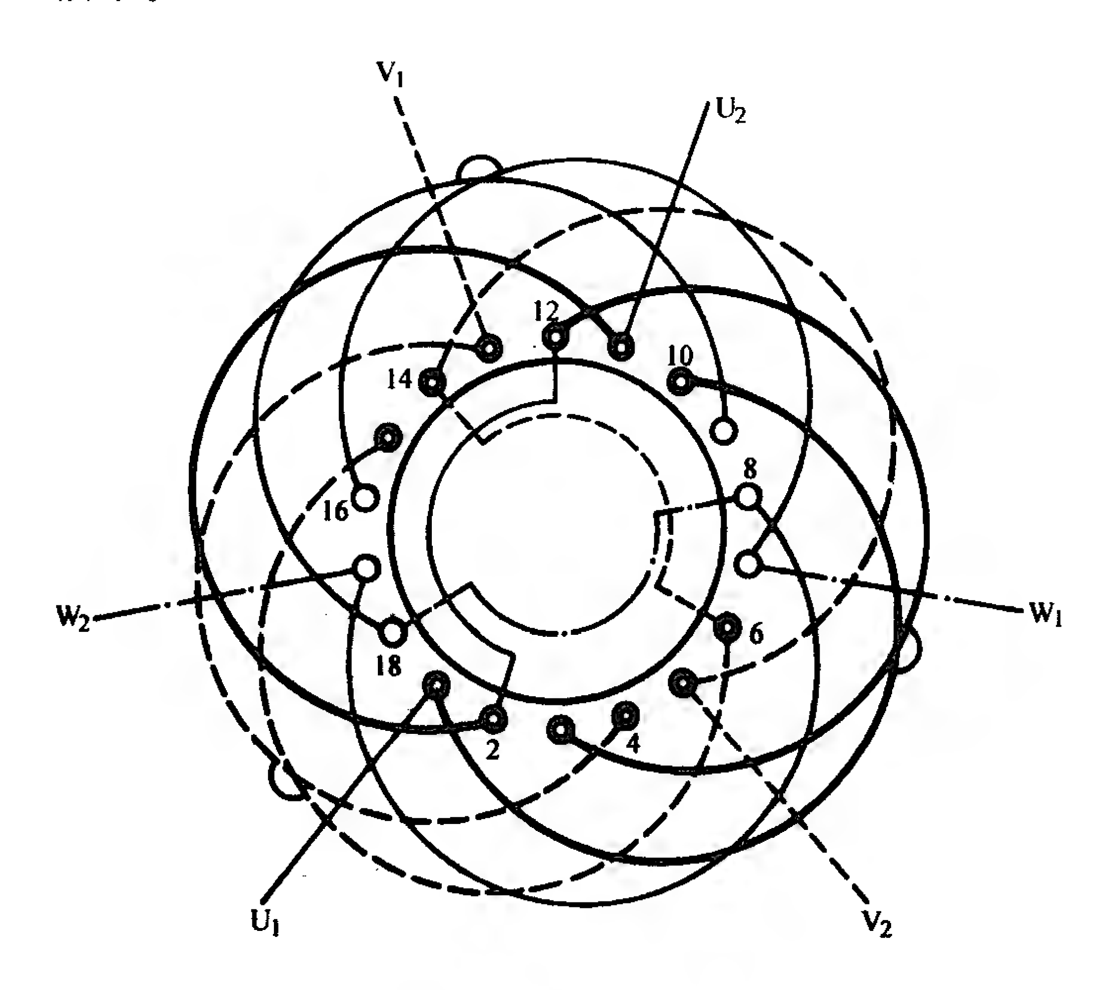


图 2-26　三相 18 槽二极单层长等距交叉式绕组

3）短等距交叉式　本绕组也属显极布线，是单层交叉绕组的特殊形式，但绕组每一相带的线圈边不是连续分布，而是把双圈联的有效边隔开一槽安排，中间插入其他相的线圈边，故称断续相带绕组，或称散布绕组。绕组布、接线如图 2-27 所示。

此型式绕组节距较短，并采用等节距线圈，但实际应用极少，而且仅采用单、双圈的结构。线圈节距

$$y = 2q + 1$$

4. 绕组工艺、性能特点

1）交叉式绕组是全距，但线圈节距比较短，故用线较省，端部损耗较小，电气性能在单层绕组较好；

2）每组线圈节距不等，给嵌绕工艺增加了一定难度；

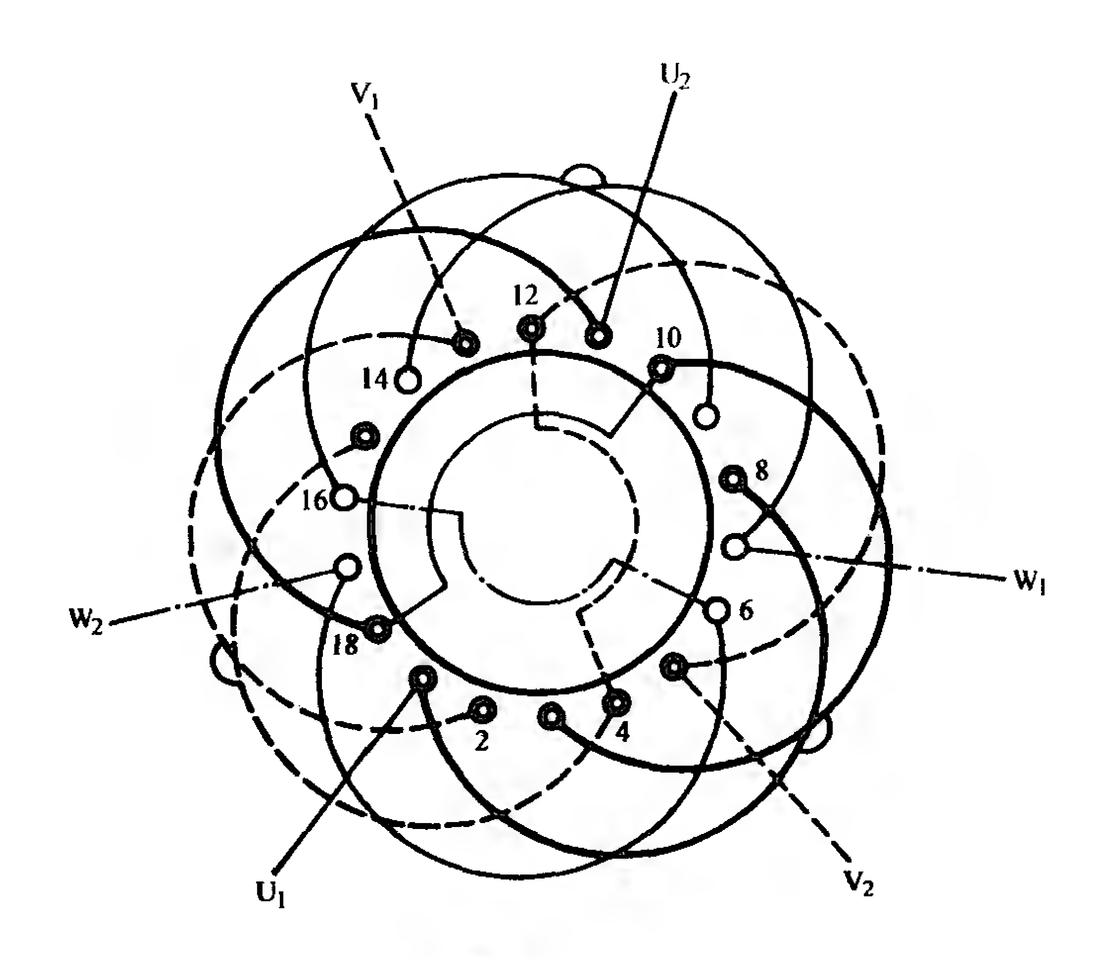


图 2-27 三相 18 槽二极单层短等距交叉式绕组

3）由于节距较短，嵌线相对于长距线圈较易操作；

4）槽满率较高。

以上交叉式绕组是对不等距布线型式而言，至于长等距交叉式则基本上不具备以上优点；而短等距交叉式则电气性能较差。故在实际应用中均极少采用。

六、三相双层绕组

本书将双层绕组分为三类。

（一）常规分布的双层绕组

1. 三相双层叠式绕组

双层叠式绕组简称双叠绕组，每槽嵌入两个线圈的各一有效边，并分置于槽的上、下层。常见的线圈形状有等节距的棱形或鼓形，用同一规格线模绕制，故绕组端部排列整齐、美观。

（1）绕组的构成　双层叠式绕组是根据图 2-10d 的分布形式构成的显极式绕组。图 2-28a 就是据此绘制的一相绕组端面布

线、接线图。如将其绘制成展开图则如图 2-29 所示。由图可见，在同相中，相邻极相线圈组的极性是相反的，即设电流从 U_1 端流入，则各线圈组的电流方向便如图中上端箭头所示，说明此绕组是显极接线，即“尾与尾”或“头与头”相接。

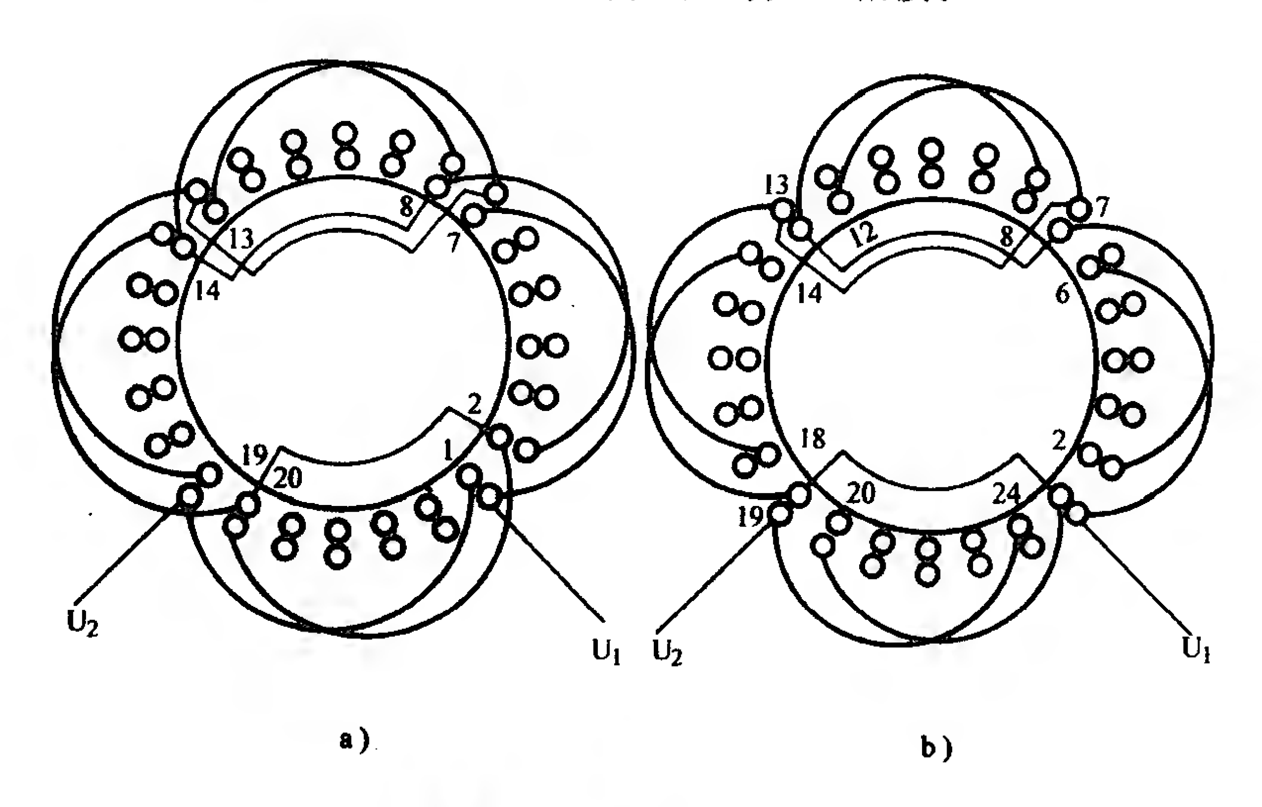


图 2-28　三相 24 槽四极双层叠式一相绕组端面布线接线图
a）全距布线（$y=\tau=6$）　b）短距布线（$y=\tau-1=5$）

此外，此绕组线圈为全距（节距等于极距），由于电气性能较差，在实用上的价值不大。为了改善电动机的电磁性能，通常采用双层叠式短距绕组，将线圈节距缩短约 1/6 极距。例如，将图 2-29 的节距缩短 1 槽，若下层边号不变，则得绕组如图 2-30 所示，这时，绕组的交叠型式和接线方式都没有变，唯有每极槽电动势由原来两槽扩展到三槽，而且各槽的电动势不相等，即中间槽电势大（两有效边电流所形成），而两边槽电动势小，使气隙中每极磁场波形近似于正弦波形分布，从而改善了电气性能。

节距缩短后的双叠绕组端面布接线情况如图 2-28b。这里需要说明一点，节距缩短后，电机绕组的极（性状）况如图 2-31 所示，它每极是由下层和上层有效边的电流极性形成的。

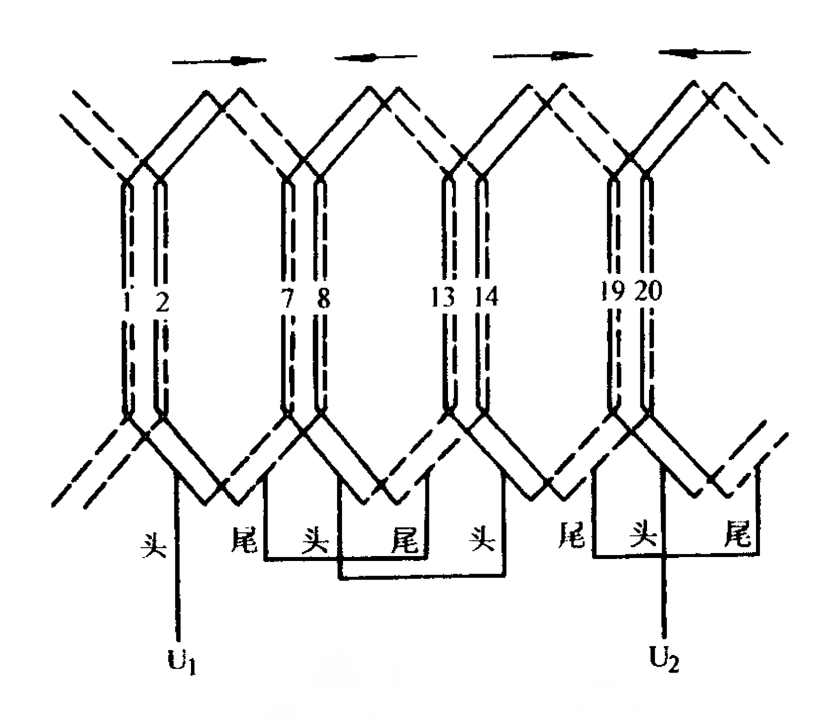


图 2-29　三相 24 槽四极双层全距叠绕组一相绕组展开图($y=\tau=6$)

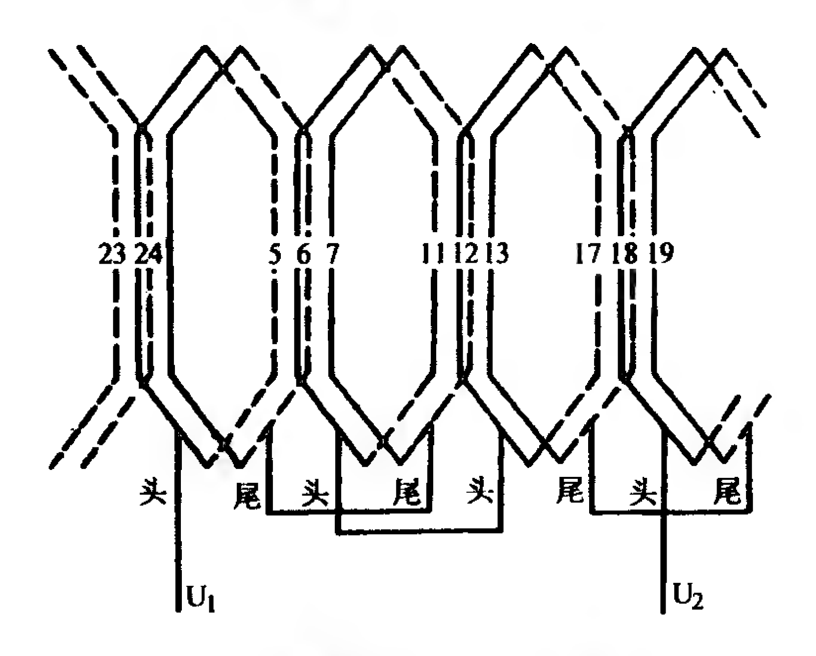


图 2-30　三相 24 槽四极双层短距叠绕组的一相绕组展开图($y=\tau-1=5$)

（2）双叠绕组的接线　在单速电动机中，双层绕组都是显极式布线，为使各相邻线圈组的极性相反，必须采用反接串联，如图 2-30 所示。

（3）绕组的结构特征

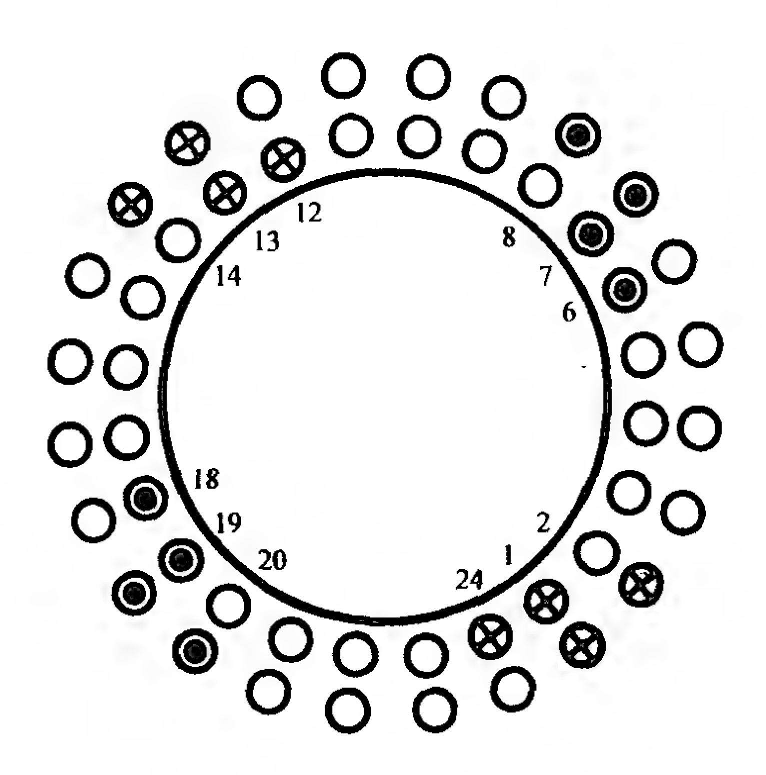


图 2-31　双层叠绕组短距线圈有效边电流形成的极性

1）双叠绕组每槽有两个有效边，总线圈数等于槽数；

2）一般双叠绕组均采用显极布线，每相极相组数目等于极数；

3）每个极相组的线圈数相等，且 $S=q\geqslant2$ 的整数；

4）实用的双叠绕组采用短距，线圈节距约为 5/6 极距。

（4）绕组工艺、性能特点

1）所有线圈节距相同，绕制方便；

2）全部线圈用同规格线模绕制，端部排列整齐，整形容易；

3）能随意选择合理的节距，以改善电磁性能；

4）线圈节距缩短使端部长度减少，不但节省线材，还降低绕组的铜损，提高效率；

5）线圈数目比单层多一倍，使嵌线略费工时；

6）节距缩短后使异相线圈出现在同槽，容易造成短路故障；

7）层间需加绝缘，有效槽满率降低。

2. 三相双层链式绕组

双层链式绕组的端部结构与双叠相同，其每组只有一只线

圈，也简称双链绕组。此型式出现较早，但极少采用，故通常将其归纳到双层叠式，但近时在电梯及辊道用电动机中应用，故本书设独立型式予以介绍。

（1）绕组的构成　如果将图 2-29 的双叠绕组定子槽数减半，则每组线圈也减至一圈，便得如图 2-32 所示的 12 槽四极双链绕组。

（2）双链绕组的接线　双链绕组从构成原理可安排显极或庶极两种形式，但实际应用只有显极式布线，故必须使同相相邻的线圈（组）极性相反。为此，当绕组串联接线时，应是“头与头”或“尾与尾”相接，如图 2-32a 所示。

（3）绕组的结构特征

1）双链绕组每组线圈数 $S=q=1$；

2）双链绕组是双层布线，同槽上下层线圈有效边可同相（全距），也可不同相（短距）；

3）双链绕组的线圈节距只有两种：一是 $y=\tau=3$（全距绕组）；另一是 $y=2$（短距绕组）；

4）双链绕组是属整数槽，而且每极相槽数 $q=1$；

5）采用显极布线，每相线圈（组）数等于极数，即 $u=2p$。

（4）绕组工艺、性能特点

1）线圈用同一规格线模绕制，绕组端部比较规整；

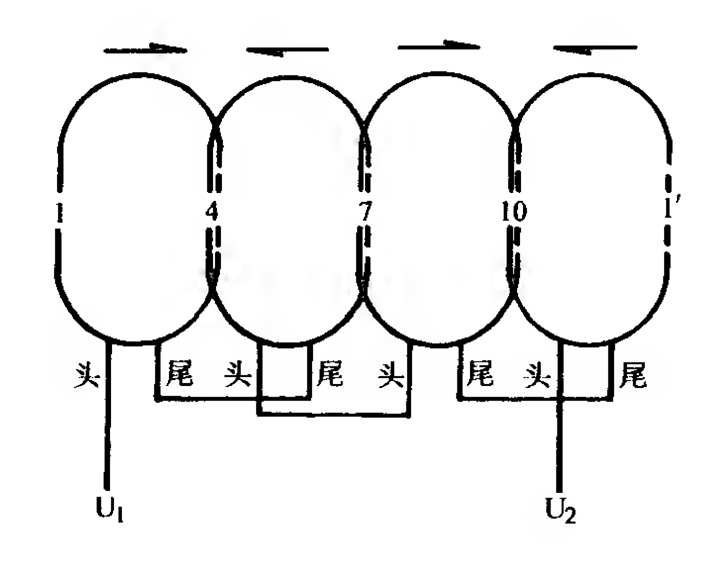
2）因 $S=1$，线圈宜采用一相连绕工艺，既可简化接线工序，又能避免焊接不良，从而提高重绕质量；

3）由于结构所限，线圈节距较短，嵌线较方便；

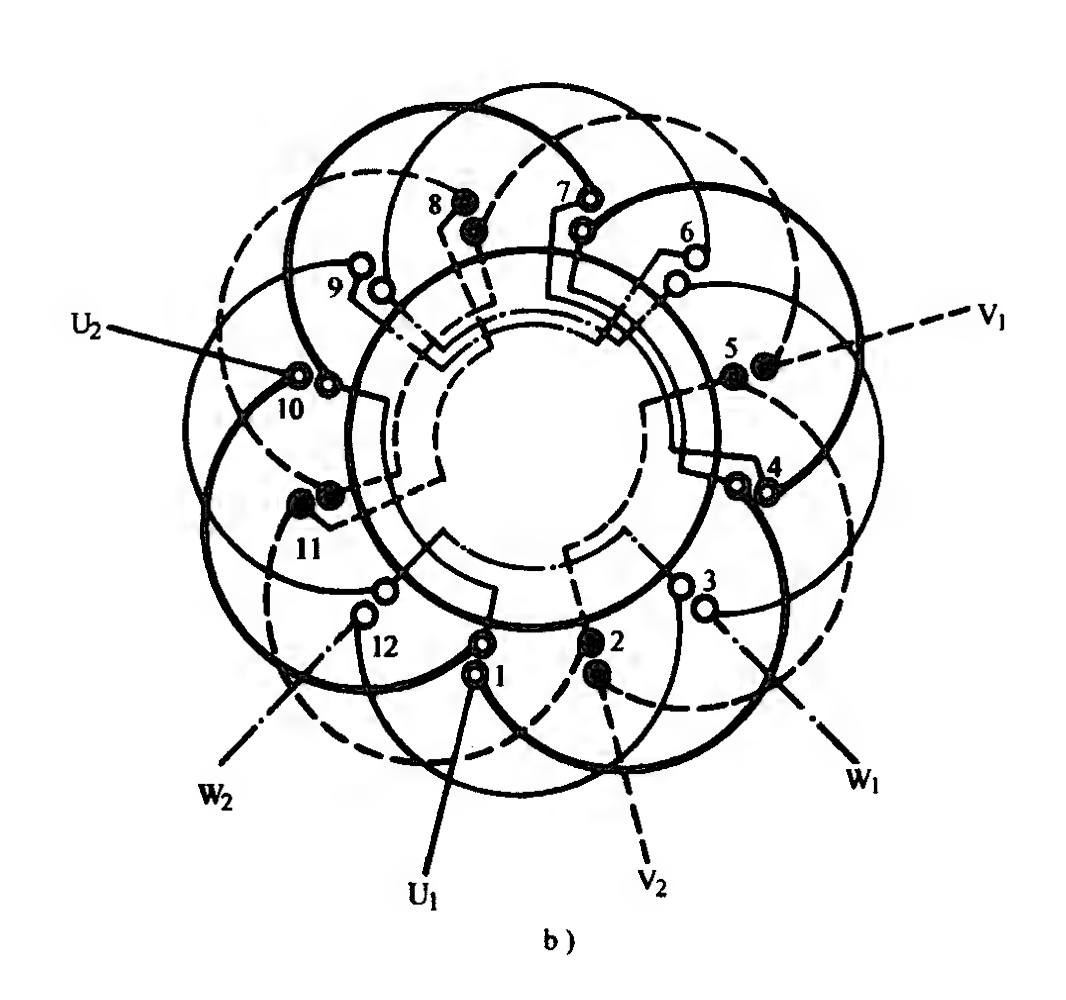
4）因属双层布线，线圈绝对数目多，嵌绕较单层费事。

3. 三相双层同心式绕组

（1）绕组的构成　三相双层同心式绕组是由双叠绕组演变而来。例如，图 2-33a 是 $y=1-8$ 的双叠（一相）绕组，若将线圈组的端部型式改变成同心线圈，则得图 2-33b 所示的双层同心式绕组。端部改变后，绕组各槽电动势分布及极性均与双叠绕组相同。但由于具有同心线圈组结构，故称双层同心式绕组。三相双



a）



b）

图 2-32　三相 12 槽四极双层链式绕组

a）一相展开图　b）三相布线接线图

层同心绕组虽然出现较晚，且极少被采用，在实际应用中仅见一例，其三相绕组布接线如图 2-34 所示。

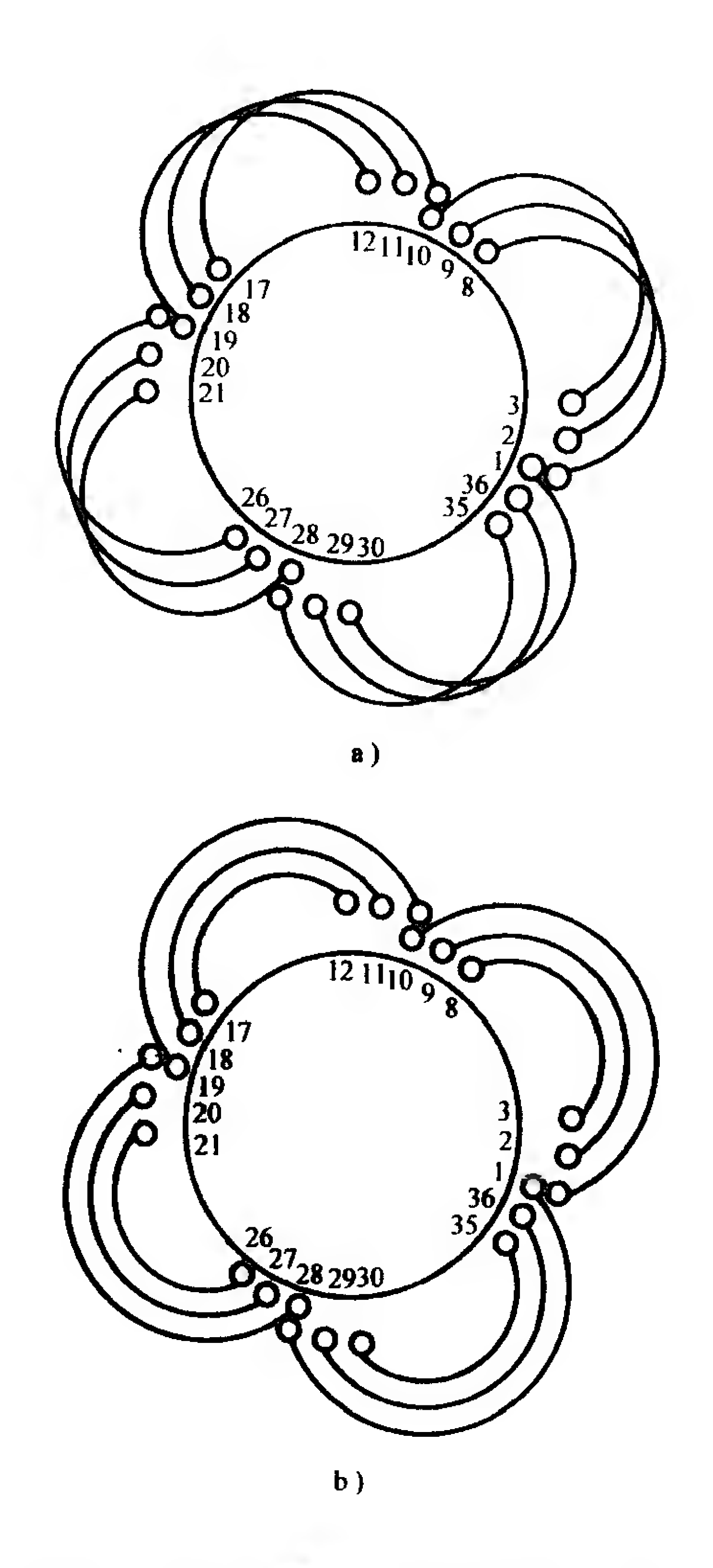


图 2-33　三相 36 槽四极双层同心式(一相)绕组的演化示意图

a) 双层叠绕组　b) 双层同心式绕组

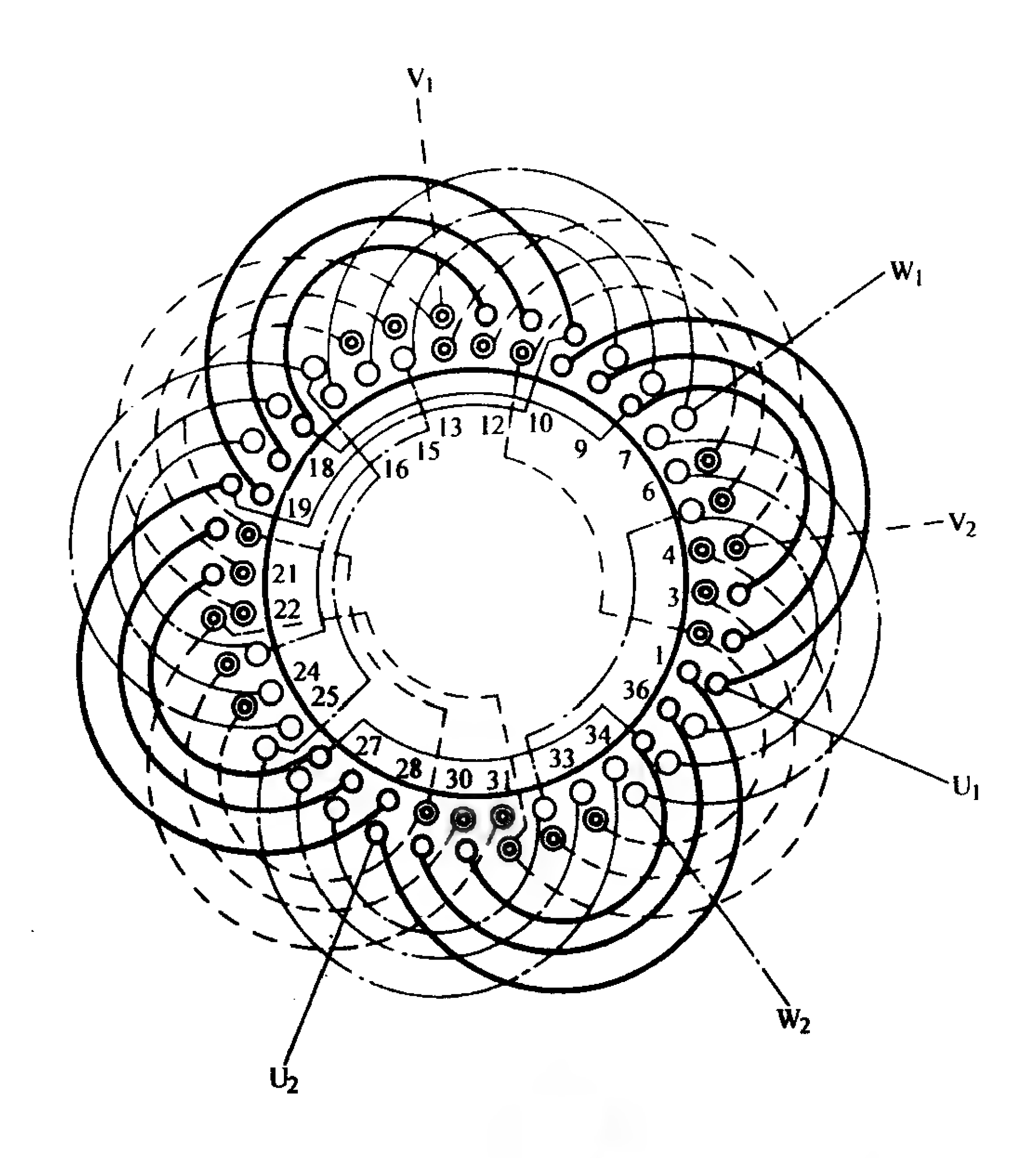


图 2-34　三相双层同心式 36 槽四极绕组布线接线图

(2) 双层同心式绕组的接线　双层同心式是由双叠绕组演化的显极式布线，故其接线也是同相相邻组间反极性，即“尾与尾”或“头与头”相接。

(3) 绕组的结构特征

1) 双层同心式绕组只有显极布线，每相线圈组数等于极数；

2) 绕组由同心线圈组构成，但每一线圈有效边分置于不同槽的上下层；

3) 每组同心线圈数 $S=q=Z/2pm$。

(4) 绕组工艺、性能特点

1) 绕组可随意选用合理的短节距，以削减高次谐波，改善

运行性能；

2）绕组端部交叠少于双叠绕组，有利于嵌线、绝缘和整形；

3）线圈不等距，绕制所用线模多，使重绕成本增加；

4）端部改变后用线也增加，铜耗增大，影响运行效率。

（二）特殊分布的双层绕组

1. 双层叠式分数绕组

（1）绕组的构成　分数绕组是双叠绕组的特殊型式，它是由每极相槽数为带分数的线圈组构成，故称分数绕组，又称分数槽绕组。

例如，定子 45 槽绕制三相六极电动机时，每极相槽数 $q = 45/2\times3\times3 = 2\frac{1}{2}$(槽)，即每组线圈数为 $S = 2\frac{1}{2}$；然而，$\frac{1}{2}$个线圈从真实意义上是不存在的，为了构成完整的一相绕组，通常用归并的方法，即把一组线圈中的分数线圈移至另一组，从而确保三相绕组线圈数相等，所构成一相绕组如图2-35 所示。

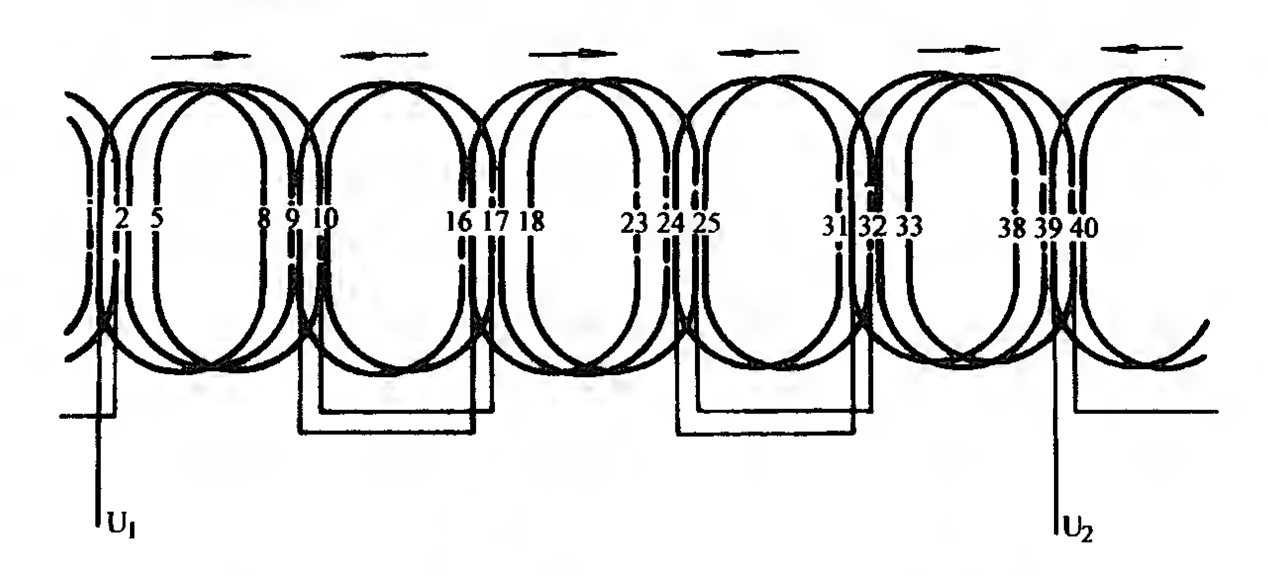


图 2-35　三相 45 槽六极双层分数绕组的 U 相绕组展开图

由于分数绕组每组线圈数不等，而定子安排磁极应对称，因此必须满足下列条件：

$$\frac{2p}{d} = \text{整数}$$

式中　$2p$——电动机极数；

d——分数绕组每极相组占槽数的分母数。

如果绕组采用并联接法，必须按短跳接法接成反接串联支路，但每一支路所含线圈数必须相等，同时还必须满足

$$2p/da = \text{整数}$$

式中　a——拟采用的并联支路数。

为了满足分数绕组的对称分布条件，其线圈组在定子上的安排有多种方法，本书介绍应用较广的归并法。

图 2-35 所示的分数绕组属于最常见和最简单的分配安排。每极相槽数 $q = 1\frac{1}{2}$，线圈组由双圈组和单圈组构成，并按 2、1、2、1…交替轮换。如果用 d 表示大联组，用 a 表示小联组便可得其每一循环的规律为 d、a。然而，可能构成分数绕组的分数还有 $\frac{1}{4}$、$\frac{3}{4}$、$\frac{1}{5}$…等等，常用的循环规律可参考表 2-5。

表 2-5　分数绕组线圈(槽)分配循环规律

序号	q	每一循环内线圈组分配			
		方案	循环规律	方案	循环规律
1	$a\frac{1}{2}$	1	d、a		
2	$a\frac{1}{4}$	1	d、a、a、a	2	a、a、d、a
		3	a、d、a、a	4	a、a、a、d
3	$a\frac{3}{4}$	1	d、d、d、a		
4	$a\frac{1}{5}$	1	d、a、a、a、a	2	a、d、a、a、a
		3	a、a、d、a、a	4	a、a、a、d、a
5	$a\frac{2}{5}$	1	d、a、d、a、a		
6	$a\frac{3}{5}$	1	a、d、a、d、d	注：a 表示小线圈组，a 组线圈个数等于 q 值的整数部分；d 表示大线圈组，d 组线圈个数 $d = a + 1$	
7	$a\frac{4}{5}$	1	d、d、d、d、a		
8	$a\frac{1}{7}$	1	d、a、a、a、a、a、a		
9	$a\frac{2}{7}$	1	d、a、a、d、a、a、a		
10	$a\frac{3}{7}$	1	d、a、d、a、d、a、a		
11	$a\frac{5}{7}$	1	d、d、a、d、d、d、a		

为了便于读者利用表中方案安排分数绕组，特举实例予以说明。

【例 2-5】 试用表 2-5 方案安排 36 槽 10 极分数绕组。

每极相线圈数

$$S = q = \frac{36}{10 \times 3} = 1\frac{1}{5}$$

由表 2-5 序号 4 查得并选取方案 1，循环规律是 d、a、a、a、a。代入本例得大小线圈组循环规律为 2、1、1、1、1，将此填入表 2-6 便得大小线圈组在定子圆周上的分布。

表 2-6 三相 36 槽十极分数绕组的线圈分布表

线圈组号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
极相序号	1U	1V	1W	2U	2V	2W	3U	3V	3W	4U	4V	4W	5U	5V	5W
每组圈数	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1
线圈组号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
极相序号	6U	6V	6W	7U	7V	7W	8U	8V	8W	9U	9V	9W	10U	10V	10W
每组圈数	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1

注：1U 表示电机绕组第 1 磁极 U 相线圈组，余类推。

如将表中三相各自分开，归纳后的线圈分配则如表 2-7 所示。表中将第 1、3、5 组线圈排在各相首位，即使进线仍按双叠绕组的要求，但因 q 值的分数不是½，三相进线无法满足互差 120°电角的要求。另外，对相绕组而言，各相绕组的循环规律不一定与所选规律相同，如本例 U 相是 2、1、1、1、1；W 相是 1、2、1、1、1；V 相 1、1、2、1、1。所以，实际操作中，线圈分组按表 2-6 进行，绕组接线则参照表 2-7 进行。

表 2-7 三相 36 槽十极分数绕组各相线圈组分配表

U	线圈组号	1	4	7	10	13	16	19	22	25	28
	每组圈数	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1
W	线圈组号	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	每组圈数	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1
V	线圈组号	5	8	11	14	17	20	23	26	29	2
	每组圈数	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1

同理，分数绕组图绘制时，必须按所选的循环方案进行分组，并标示组号，然后标上线圈组的相号，再选定进线位，按显极要求，即同相相邻组间极性相反逐相连接。图 2-36 是根据线圈分配表绘制的 U 相绕组方块图。图中编号是线圈组号。为简化画法，图中的长方块代表双圈组；小方块用小圆代替，代表单圈组。其余 W、V 相由读者练习，用彩笔连接完成。三相绕组布线接线则参见范例图 2-63。

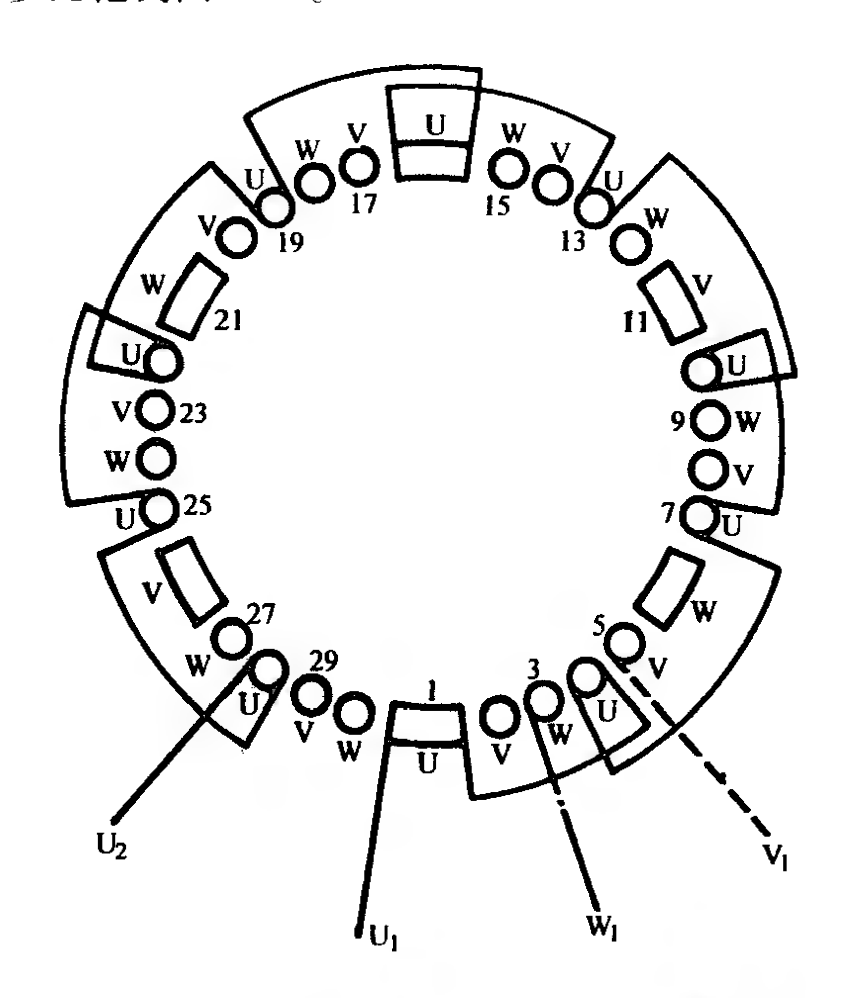


图 2-36　三相 36 槽 10 极分数绕组线圈分布及 U 相接线图

（内圈数字是线圈组编号）

（2）分数绕组的接线　分数绕组是显极式布线，其接线规律与双叠绕组相同，即“尾接尾”或“头接头”，使同一支路的相邻线圈组反接串联。但是，由于每组圈数不等，要确保循环规律实施，必须根据分配表确定 U_1 进线的 1 号线圈组。如例 2-5 便取双圈为 1 号。

(3) 绕组结构特征

1) 绕组为双层叠式，并由形状、大小相同的短节距线圈构成；总线圈数等于槽数；

2) 显极式布线，每相线圈组数等于极数；

3) 每极相槽数是分数，每组线圈数不等

小联线圈数　$S_x = q -$ 分数 = 整数

大联线圈数　$S_d = q +$ 分数 = 整数

4) 分数绕组极距为分数时，无法满足三相出线互差 120°电角的条件，但仍应从 1、3、5 组进线。

(4) 绕组工艺、性能特点

1) 端部排列整齐，重绕整形容易；

2) 可灵活选用短节距，节省线材；

3) 分数绕组能有效削减高次谐波磁势，改善电磁性能；

4) 线圈组数目比单层绕组多一倍，而且每组圈数不等，不利于嵌绕工艺；

5) 槽满率较低，同槽出现异相线圈边，容易发生短路故障。

2. 变极绕组

变极绕组应用于三相交流双速或多速电动机。它属三相异步电动机的特殊机型，是利用一套特殊设计的绕组通过外部改接线以改变绕组极数来达到变速的目的。

变极电动机早在上世纪 40 年代末出现，最初是以倍极比(如 4/2 极、8/4 极)型式，故称双速电动机，它是将部分线圈的电流极性反向的方法改变绕组的极数，称为反向变极。随着科技进步，目前已采用非倍极比(如 6/4 极、8/6 极)变极，还发展到换相变极法、双节距变极法，制造出单绕组三速、四速的电动机。变极电动机遍及到工业生产各变速系统，也用于民用如电梯等电动机。因其应用日广，而绕组变化复杂，本书于后再行介绍。

3. 三相正弦绕组

(1) 绕组的构成　三相正弦绕组又称星-角混合绕组，是近年出现的一种高品质的特殊型式绕组。它把普通的 60°相带绕组

每极相组线圈分成△形和Y形两部分分别接线。由于星形绕组较角形绕组电流相位滞后30°电角度，从而使电机综合电流在定子圆周上的分布更接近于正弦波形，故被称为三相正弦绕组。

正弦绕组的构成是以普通三相绕组为基础，即将每极相槽数 q 一分为二，如图2-37所示，$q=4$ 槽，二极电动机每相有4只线圈，其中两只(细线)线圈为角(d)形接线；另两(粗线)线圈为星(Y)形接线。由于星形接于角形之内，如图2-37b所示，故称内星角形接法。此外，三相正弦绕组还有内角星形接法，如图2-38所示。

(2) 正弦绕组的接线　正弦绕组是由两种不同参数的线圈绕制，必须按图嵌线方可进行接线。

1) 内星角形的接线　先接角形部分，即将角形的线圈按显极绕组要求逐相接好后，再把三相绕组按图连接成三角形，进线端标记 U_d、W_d、V_d；然后再接星形部分，始端标记 U_y、W_y、V_y，也按显极绕组逐相连接，三相尾端连成星点；最后分别把 U_y (W_y、V_y)与 U_d (W_d、V_y)连接，并引出 U_d、W_d、V_d。

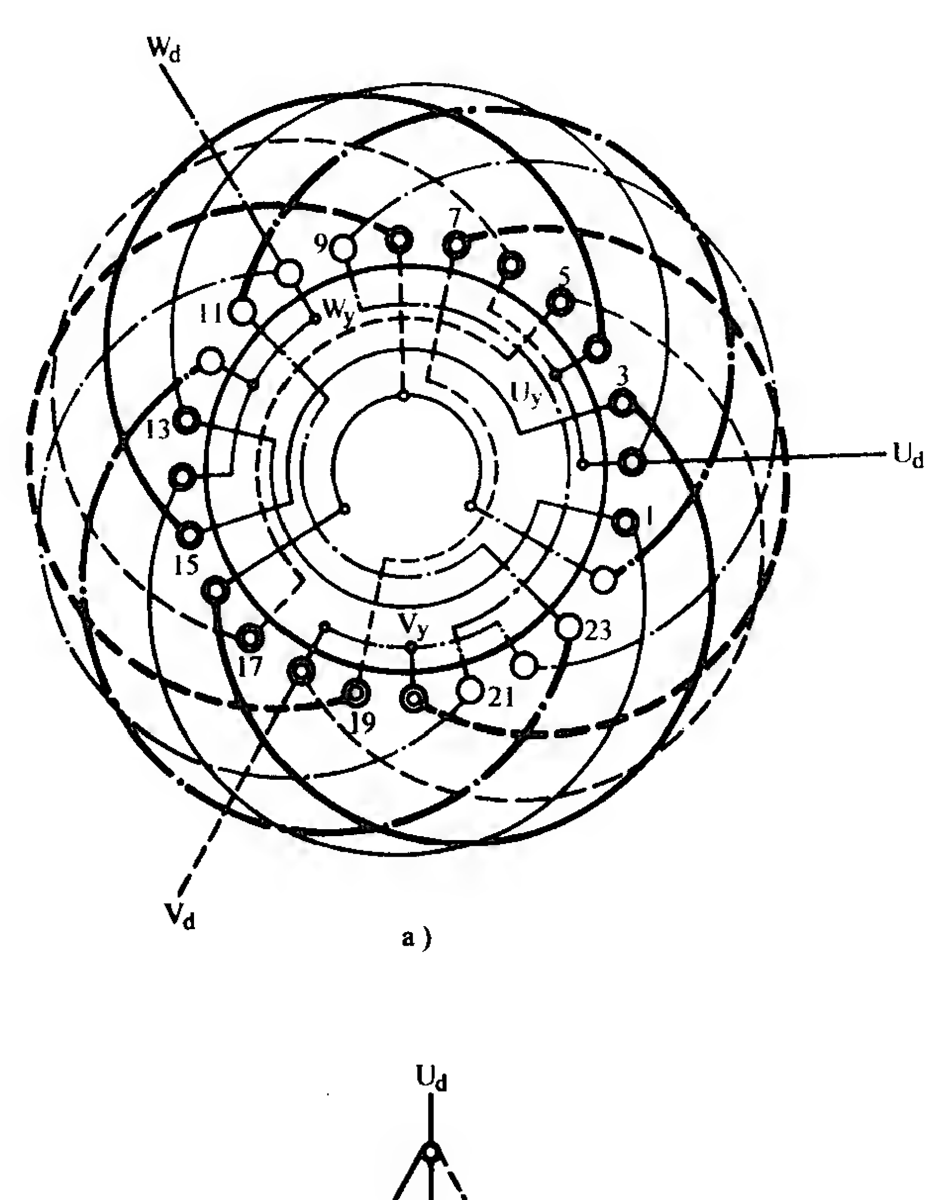
2) 内角星形的接线　一般也宜先接角形，即分别按常规要求(显极或庶极)逐相接好，再按常规接成角形，并将三相首端标示 U_d、W_d、V_d；然后再按规律接好星形部分的三相，其尾端分别对应与 U_d、W_d、V_d 连接，最后引出星形相头 U_y、W_y、V_y。

正弦绕组有显极布线和庶极布线两种形式，因所选示例均为显极式，上述说明是以显极布线叙述；如系庶极布线则逐相要按庶极规律，即同相相邻极性相同进行接线。

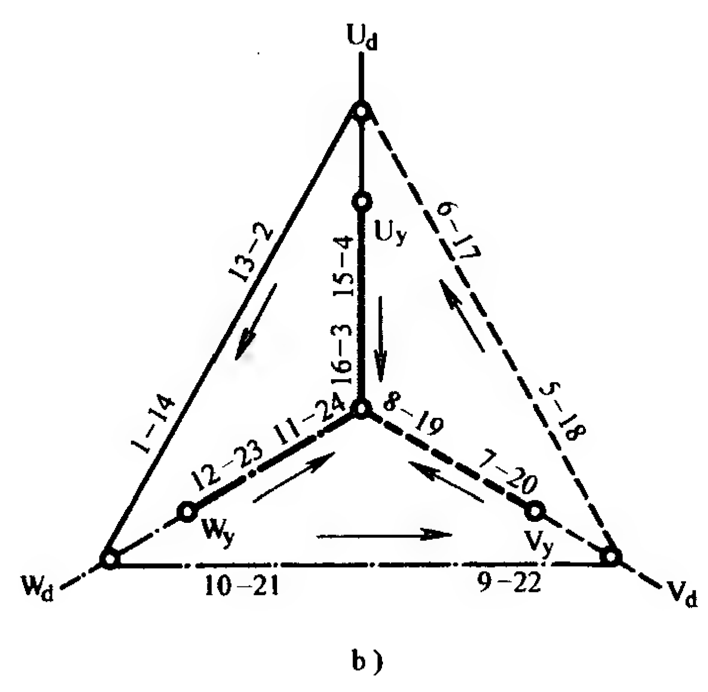
(3) 绕组的结构

1) 正弦绕组每极相槽数分为两部分，一部分嵌入星形线圈；另一部分嵌入角形线圈；

2) 两部分绕组的线圈匝数及线径是不相同的，而两部分每相绕组中，每相绕组包含线圈数视设计而定，可以相等，也可不相等；



a)



b)

图 2-37　24 槽二极(内星角形)三相正弦绕组示例

a) 端面布线接线图　b) 简化接线示意图

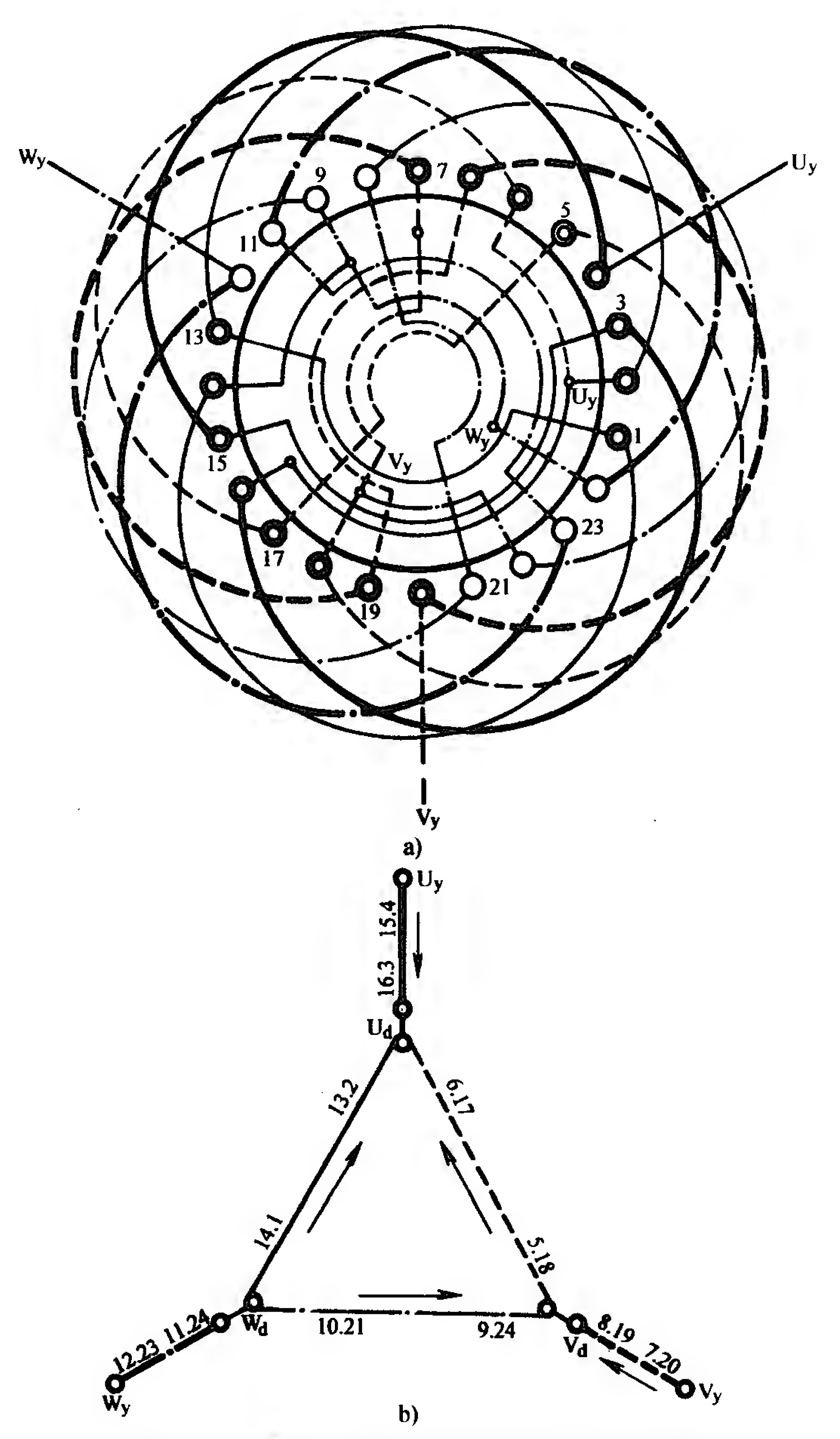


图 2-38　24 槽二极(内角星形)三相正弦绕组示例

3）正弦绕组中两部分绕组各自连接，然后再根据要求将两部分接成内角星形或内星角形；

4）正弦绕组双层布线均属显极绕组；单层布线有显极或庶极两种形式；

5）正弦绕组每部分的相绕组连接极性与普通电动机相同，即显极相绕组相邻组间反极性；庶极每相相邻组间同极性。

（4）绕组工艺、性能特点

1）正弦绕组由两种参数的线圈组成，嵌绕较费工时；

2）正弦绕组结构和接线复杂，工艺要求较高，制造成本也高；

3）能有效削减高次谐波，改善电机运行性能；

4）正弦绕组可减少附加损耗，提高运行效率，节省能源；

5）具有较高的绕组系数；

6）采用正弦绕组可减少振动和噪声，提高运行稳定性。

（三）特殊接线的双层绕组

双层波式绕组主要用于大型交流电机定子及中型电机转子绕组，它是双层绕组的特殊布线型式。通常是用扁铜线或矩形截面的铜条做成绝缘线圈元件，两元件之间无需连接线，而是将元件相互焊接连结成波浪形绕组，故简称波绕组。

1. 波绕组的构成

波绕组是由全距叠绕组演变而来，它是在槽电动势不变的前提下，改变连接次序，改变绕行路线形成的。图 2-39a 是全距叠绕组的一相绕组展开图，每极占两槽(即四个有效边)，设电流从 U_1 进入，其绕行路线是绕行完第一个极相组线圈再到另一极相组线圈，循此规律双叠绕组绕行路线如下：

$$U_1 \rightarrow (1\text{-}7') — (2\text{-}8') — (14'\text{-}8) — (13'\text{-}7) —$$
$$(13\text{-}19') — (14\text{-}20') — (2'\text{-}20) — (1'\text{-}19) \rightarrow U_2$$

如改用波绕组，则如图 2-39b 所示，它从 K_1 开始，经元件 2-8′后（暂不绕行本极相组的另一元件 1-7′），而折向第二个极相组元件 14-20′，再到第三、第四极相组一元件至尾端 x_1，完成一

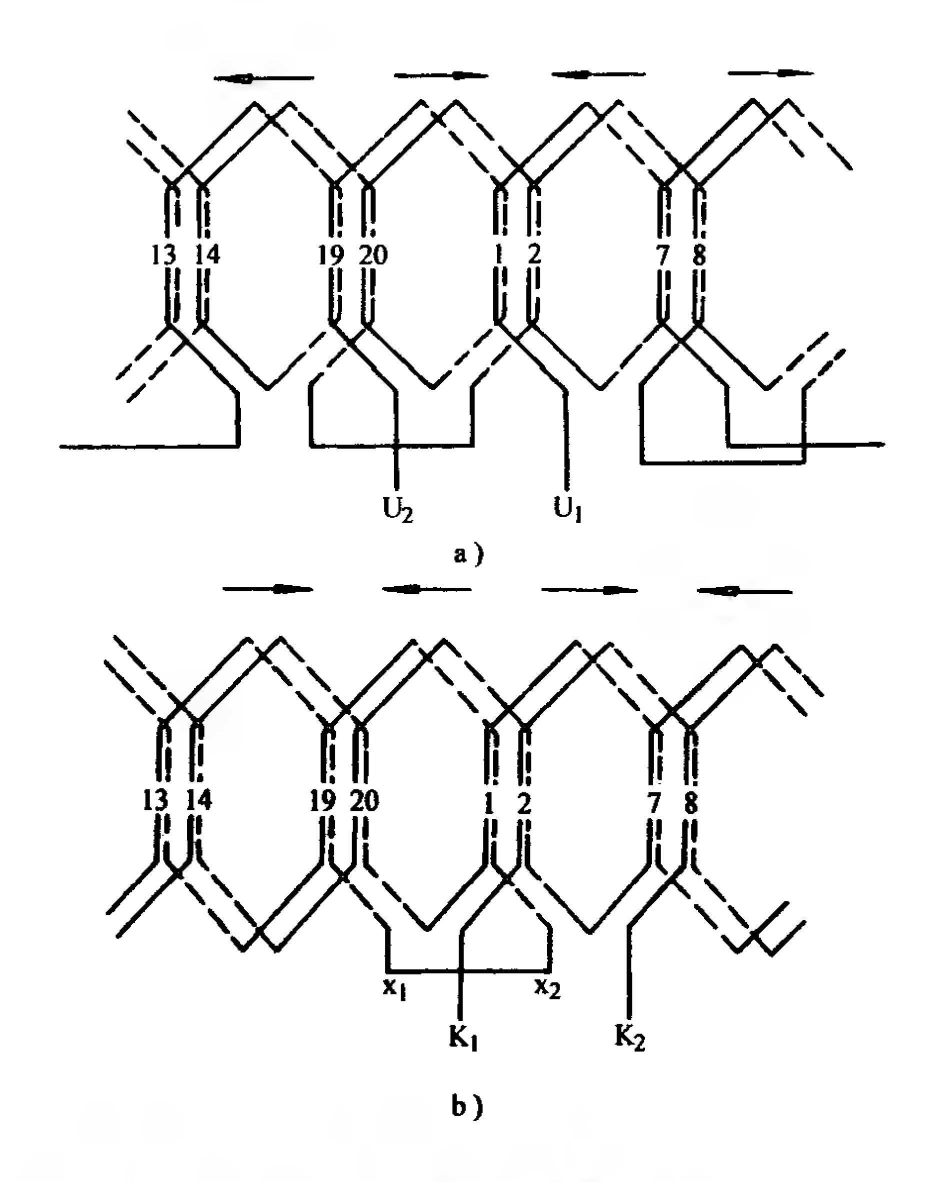


图 2-39 三相 24 槽四极双层叠式与波绕组的演化示意图(一相)

a) 双层叠绕组 b) 双层波绕组

个支路的绕行；另一支路则从 x_2 开始反向绕行，以保持上面支路各极相组的极性相同。波绕组绕行路线如下：

$$K_1 \rightarrow (2\text{-}8') — (14\text{-}20') — (1\text{-}7') — (13\text{-}19') — x_1$$

$$K_2 \leftarrow (8\text{-}14') — (20\text{-}2') — (7\text{-}13') — (19\text{-}1') — x_2$$

从两图比较可见，虽然两种连接方式不同，绕行路线也不同，但其效果是相同的，即槽电动势极性所形成磁极极性及分布规律都是相同的。

2. 波绕组的接线

波绕组每相有两个支路连结点(如图 b 中的 x_1、x_2)，其外部

接线仅把 x_1 与 x_2 连接起来即可，故其连接线较短，而绕行支路则由元件本身进行连接，因此容易做到动平衡，故常用于转子绕组。

3. 绕组的结构特征

1）波绕组是双层绕组的特殊形式，线圈由波形元件构成；

2）每相绕行支路 $a=2$，与极数无关；

3）绕组为全距，但采用短节距过渡，如图 2-39b 的(19-1′)所示，

正常节距　$y_1=y_2=\tau$

过渡节距　$y_y=y_1-1$

4. 绕组工艺、性能特点

1）绕组连接线少，容易做到机械平衡；

2）因用于大型电机绕组，元件为大截面导体，可简化接线工艺；

3）绕组排列和元件连接比较繁难，故一般小型电机极少应用；

4）线圈为成型硬元件，制造工艺技术要求较高。

七、三相混合型绕组

混合型绕组系指两种不同型式混合构成的绕组。

（一）单、双层混合式绕组

（1）绕组的构成　单双层混合式绕组简称单双层绕组，属层次混合的绕组，是由叠式短距绕组演变而来的一种性能较好的绕组型式。

双层短距叠绕组的一相绕组端面布线如图 2-40a 所示。如保持原有槽电动势和极性不变，把同槽内同属一相的上下层有效边合并成一只(单层)大线圈；而将同槽不同相的上下层边保持原样，则其端部结构便改变，如图 2-40b 所示的具有单层和双层线圈混合的同心式绕组。三相单双层混合式 36 槽四极绕组布接线如图 2-41 所示。

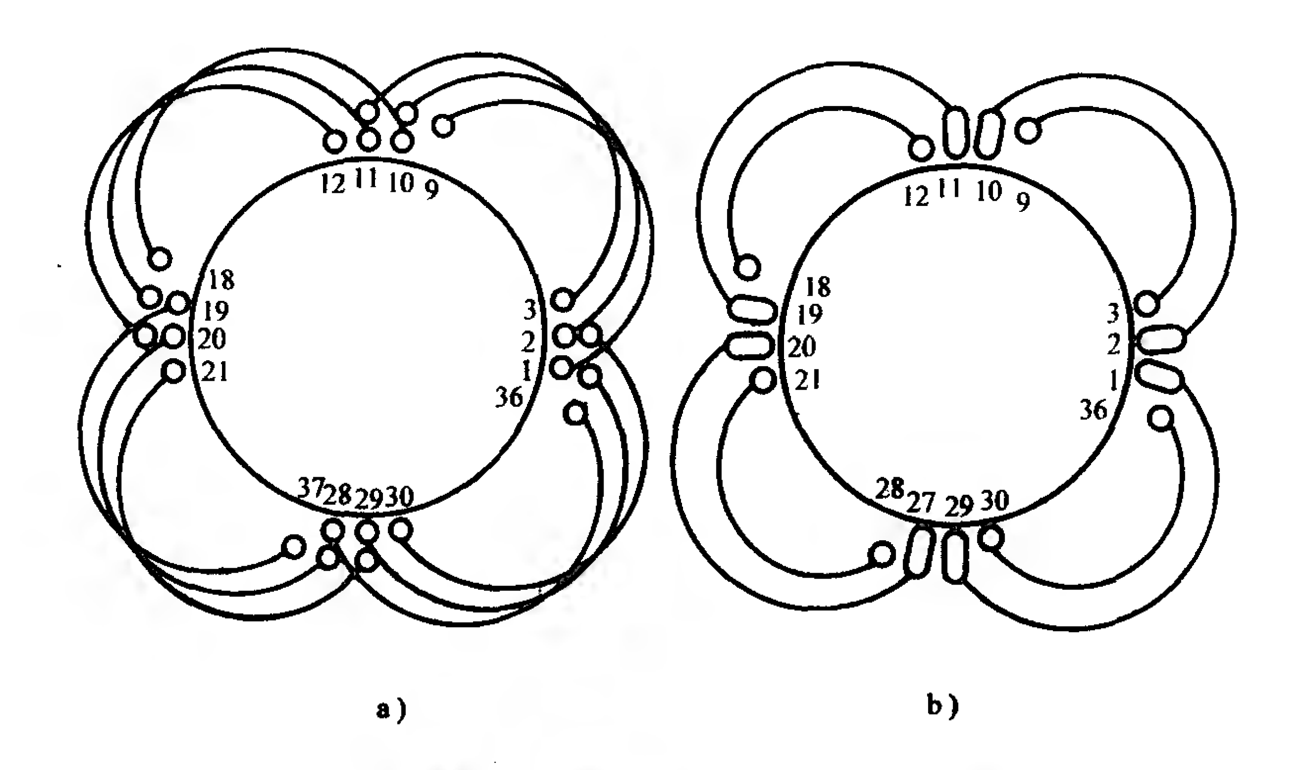


图 2-40　三相 36 槽四极双叠与单双层混合式绕组的演化示意图

a) 双层叠绕组　b) 单双层混合式绕组

目前，实际应用中的单双层绕组都是显极布线；每组线圈由一只或数只单、双层线圈构成，而且线圈组的外层是单层大线圈，内层是双层小线圈，如图 2-41 所示。

然而，从构成原理来说，几乎所有短距的双叠绕组都能演变成单双层绕组，在特定条件下，甚至分数绕组和庶极式布线的叠绕组也可能排出单双层绕组，但实际应用则极为罕见。此外，三相 36 槽八极定子还可排出每组单圈的单双层绕组。

（2）单双层绕组的接线　单双层绕组属显极式布线，同相相邻组间极性相反，即采用反接串联接线。

（3）绕组的结构特征

1）绕组由单层和双层线圈构成同心线圈组；

2）大线圈为单层布线，其匝数是双层线圈的两倍；

3）线圈组为同心结构，各线圈由下式确定：

$$\text{大圈节距}\quad y_1 = \tau - 1$$

$$\text{次圈节距}\quad y_2 = y_1 - 2$$

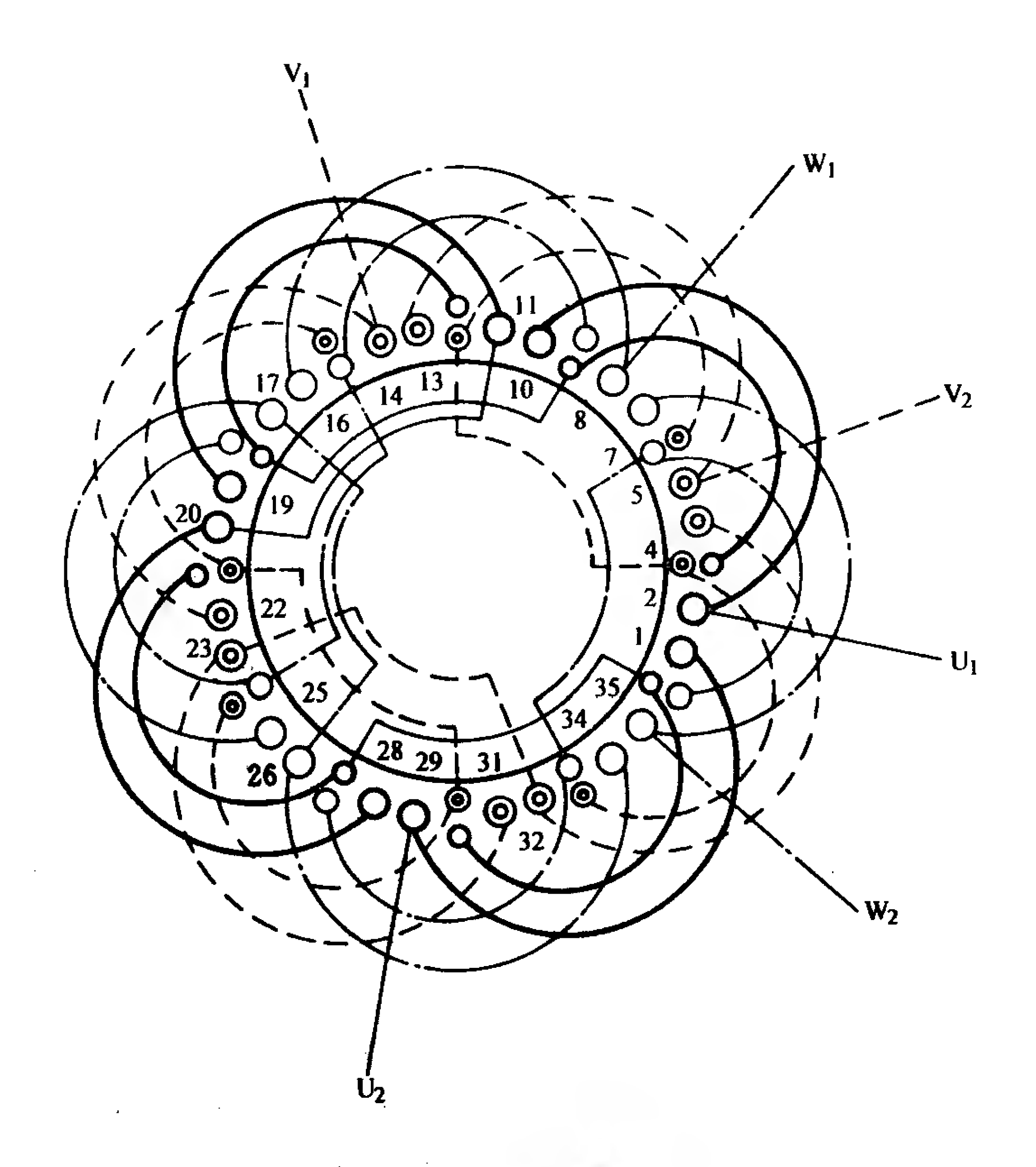


图 2-41　三相单双层混合式 36 槽四极绕组布线接线图

再次节距　$y_3 = y_2 - 2$

余类推。

4）单双层绕组平均节距

$$y_p = y'_{双} + q - 1$$

式中　$y'_{双}$——双层线圈中最小线圈的节距。

5）每极相槽数为整数时，要构成单双层绕组，则 q 值和$\beta = \tau - y_p$ 值必须同是奇数或偶数；

6）每组中，单层线圈数　$S_{单} = (q - \beta)/2$

双层线圈数　$S_{双} = \beta$

每组线圈数　$S = S_{单} + S_{双}$

式中　β——绕组采用短距所缩短的槽数。

(4) 绕组工艺、性能特点

1) 单双层绕组保留短距绕组灵活选用节距的特点，故能获得较好的电磁性能；

2) 总线圈数较双层布线少，且同心线圈减少了端部交叠，嵌线工艺性较好；

3) 单双层绕组实际平均节距较双叠略有缩短，使损耗减少而效率提高；

4) 单双层线圈匝数不等，且大小线圈分布不及双叠绕组有次序，给嵌绕和接线增加了一定的难度。

(二) 同心交叉式绕组

(1) 绕组的构成　同心交叉式绕组是具有“回”字形同心线圈组和相邻线圈组不等圈数的交叉特征，实属绕组型式为混合型的单层特殊绕组。它是由交叉式绕组演变而来。

交叉式绕组如图 2-42a 所示，如将交叠线圈组有效边不动，改变其端部连接，如 1-$\overline{10}$、2-$\overline{9}$；19-$\overline{28}$、20-$\overline{27}$便得图 2-42b 所示的同心交叉式一相绕组。

(2) 同心交叉式绕组的接线　同心交叉式绕组主要采用显极式布线，虽然从结构上也可构成庶极形式，但实际应用不多，仅见于外国个别电机。所以其接线与单层交叉式一样，使同相相邻组间反极性，即“尾与尾”或“头与头”相接。

(3) 绕组结构特征

1) 绕组由每极相槽数 $q = 3$、5、7 等奇数构成，在实用上仅有前面两种；

2) 同心交叉式绕组的线圈组，最常见的是单、双圈组，也有采用双、三圈组；除单圈外，其余均采用同心结构线圈组；

3) 线圈节距不等，但属全距绕组，各线圈节距由下式确定：

单圈及小圈节距　$y_1 = 2q$

中圈节距　$y_2 = y_1 + 2$

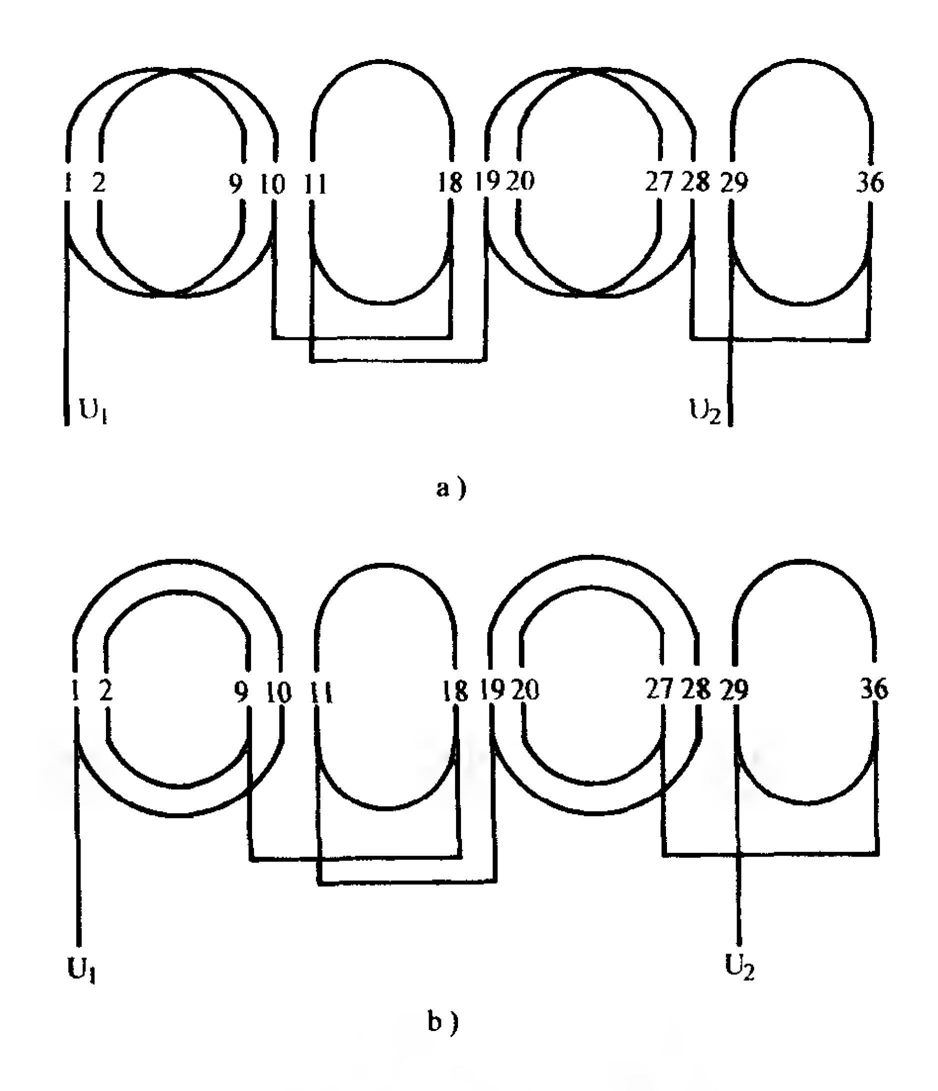


图 2-42 三相 36 槽四极一相绕组展开图对照

a) 单层交叉式 b) 单层同心交叉式

大圈节距 $y_3 = y_2 + 2$

(4) 绕组工艺、性能特点

1) 交叠线圈组改成同心线圈组会增加平均匝长，且漏磁也增大，对电磁性能产生不利影响；

2) 绕组有两种嵌法，若线圈节距较大的二极电机，可采用分层整嵌工艺而无需“吊边”，其端部将形成三平面结构；

3) 槽满率较高，但电气性能略逊于单层交叉式绕组。

同心交叉式绕组实际应用的型式不多，图 2-43 是单层同心交叉式绕组常用二例。

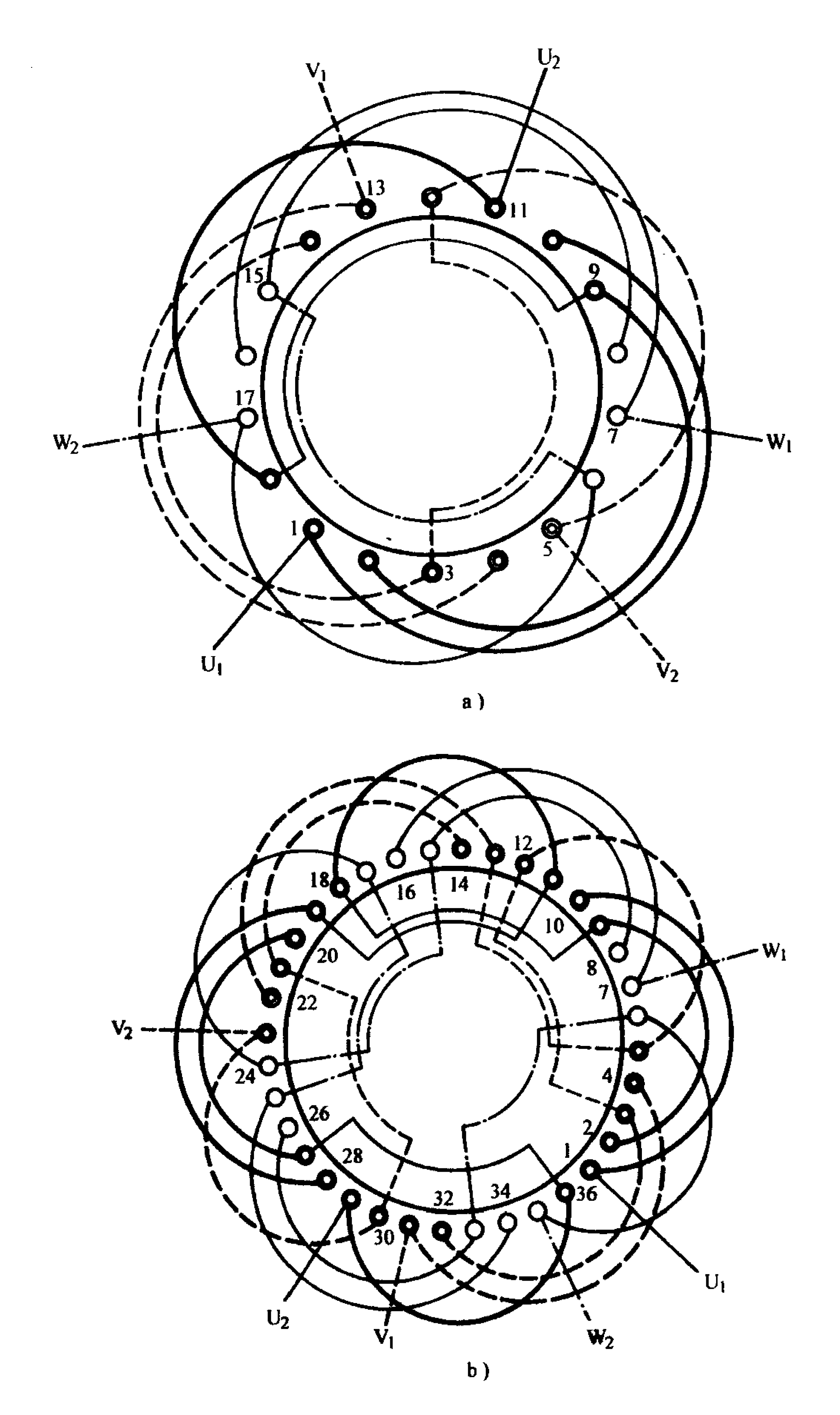


图 2-43 三相单层同心交叉式绕组布接线图

a) 18 槽二极 b) 36 槽四极

第二节　三相新系列中小电动机绕组布线接线典型范例

三相交流电动机型式很多，但随着实践中不断择优劣汰，能够获得较多应用的绕组型式不过 10 余种。对系列产品而言，相同条件下选用绕组型式则必须兼顾技术性能和制造成本，故使其应用范围变得更窄。但好在我国经济发展较快，设备淘汰率也随之提高，目前老系列产品，多已被效率较高且起动、运行性能较好的新系列电机所代替。在电机修理中，掌握其典型便可推及全局。为此，本节特将 Y、Y2 系列(IP44)中小电动机作为典型范例，采用端面模拟画法，绘制成电机绕组布线接线图，并在每例中扼要介绍绕组结构参数及布接线特点，供读者学习和修理时参考。为了便于识图，拟作如下说明：

(1) 本书范例图均以电机绕组端面视向绘出，其中大圈代表定子铁心内径或转子外径；圈外小圆代表定子线圈槽内有效边；圈内小圆则代表转子槽内有效边。因此，单层绕组只有一层小圆，双层绕组为两层小圆。

(2) 连接有效边(小圆)的弧线代表线圈端部。为简化起见，由多个单元线圈顺接串联成一组时，其组内连接线一律省去，其画法形式参考图 2-4。

(3) 双层绕组每槽嵌入两线圈边，先嵌的边处于槽底称为“下层”，后嵌边于槽面称“上层”。

(4) 单层绕组每槽只有一有效边，采用整圈嵌线时，其层次是指线圈组的端部平面层次；若是交叠嵌线，则无层次之分，但后嵌入的端边压住先嵌边而置于端部的面上，故把一个线圈先嵌入边称为“沉边”，后嵌入的边称作“浮边”，以资区别。

(5) 绕组分显极和庶极布线，图例对庶极均作特别说明，余者属显极。

(6) 绕组嵌线方法有整圈嵌线和交叠嵌线两类，图例中仅作简要介绍，具体操作可参考 4-5 节内容。

(7) 图例所列各参数含义可参看上节解释。

(8) 图例中为区别三相绕组的相别，采用粗实线、虚线、点划细线以及粗小圆、双小圆、细线圆分别代表 U、V、W 三相。

此外，本节图例取自 Y 系列及 Y2 系列电动机资料，如需了解更全面的内容，可参考《新编电动机绕组布线接线彩色图集》。

一、三相 18 槽二极单层交叉式绕组布线接线图(图 2-44)

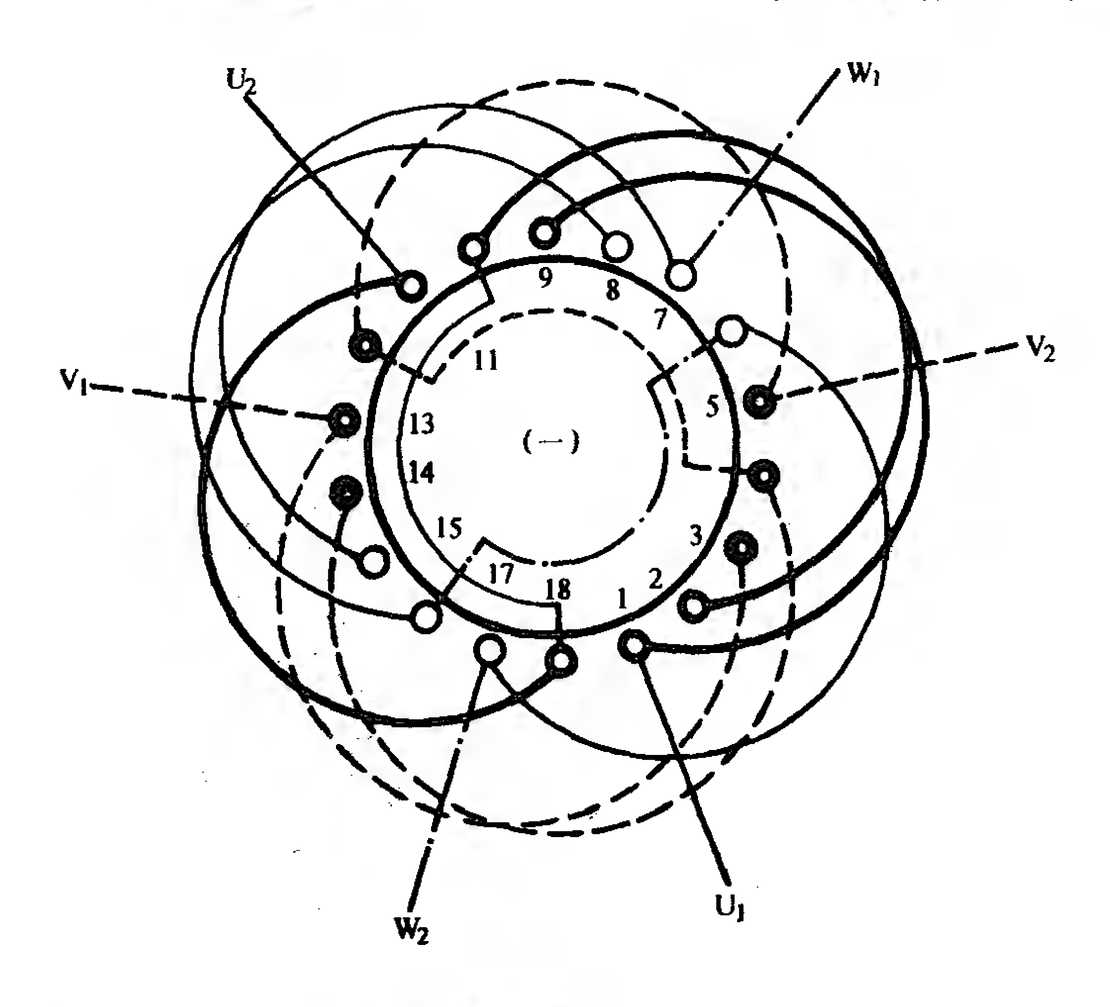


图 2-44 三相 18 槽二极单层交叉式绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=9$	极相槽数	$q=3$
线圈组数	$u=6$	每组圈数	$S=1\frac{1}{2}$
绕组极距	$\tau=9$	线圈节距	$y=8$、7
并联路数	$a=1$	绕组系数	$K_w=0.966$

2. 绕组布接线特点及应用举例

绕组是不等距布线的显极绕组，每相由一交叠双圈组和单圈

组构成，双圈节距 $y_D = 1 \sim 9$，单圈节距 $y_x = 1 \sim 8$。此绕组是属单层分数线圈绕组，是交叉链式绕组的基本型式。此绕组应用较多，除用于新系列电动机外，还用于便携式电动工具，如手提砂轮机、平面振动器等。

3. 绕组嵌线方法

嵌线采用交叠法，通常从交叠联起嵌，嵌线顺序是嵌好二槽向后退，空一槽后嵌单圈，再退空二槽嵌双圈。以此类推，但从第 4 只线圈起可以整嵌。

二、三相 24 槽二极单层同心式绕组布线接线图(图 2-45)

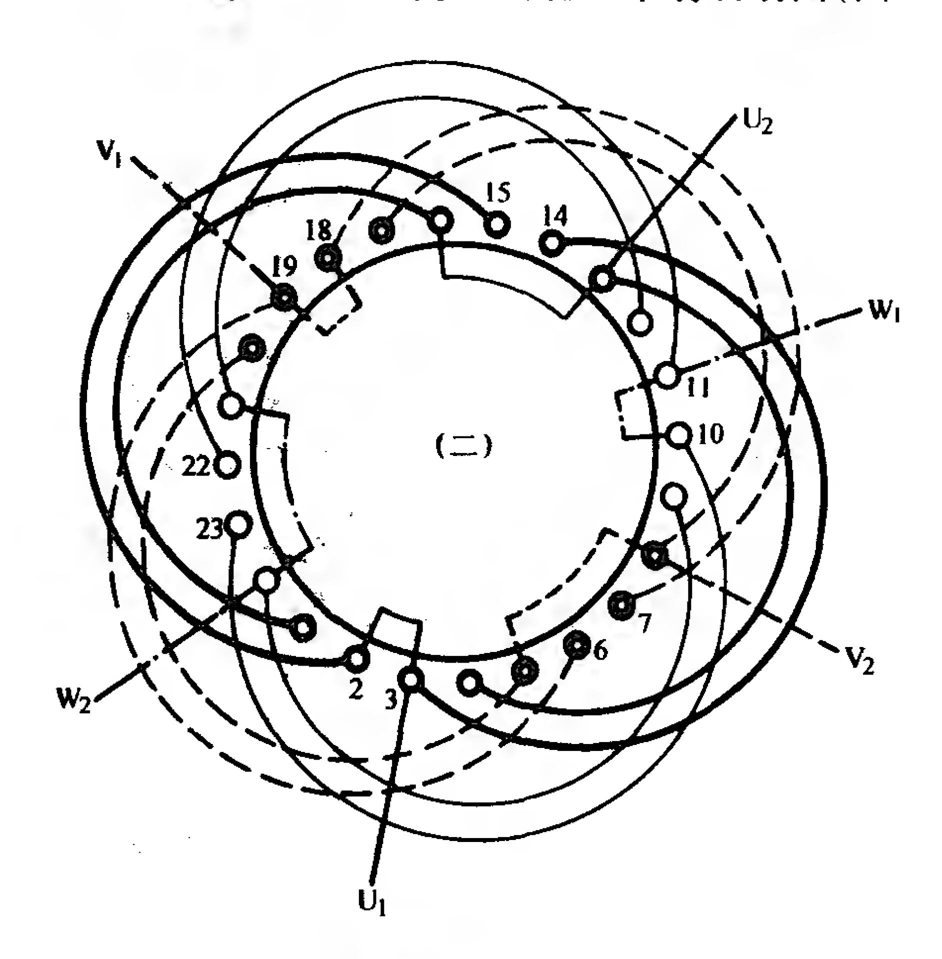


图 2-45 三相 24 槽二极单层同心式绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q = 12$	极相槽数	$q = 4$
线圈组数	$u = 6$	每组圈数	$S = 2$
绕组极距	$\tau = 12$	线圈节距	$y = 11$、9
并联路数	$a = 1$	绕组系数	$K_w = 0.958$

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例是二极电机常用绕组布线方案，采用显极布线，一路串联反接，每相二组线圈反极性串联；每组由节距为 1～12、2～11 的同心线圈组成。此绕组在小型二极电动机中应用很多，除用于 Y100L-2 外，还用于污水电泵 BJ02-31-2、直流弧焊电动机 AX-165 等。

3. 绕组嵌线方法

绕组嵌线可用交叠法或整嵌法，但整嵌无需吊边，构成三平面结构不够美观，一般极少采用；交叠法嵌线则要吊 4 边，嵌线要点是：嵌入两槽退空两槽，再嵌两槽再空两槽，余类推。

三、三相 30 槽二极单层同心交叉式绕组布线接线图（图 2-46）

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q = 15$	极相槽数	$q = 4$
线圈组数	$u = 6$	每组圈数	$S = 2\frac{1}{2}$
绕组极距	$\tau = 15$	线圈节距	$y = 15$、13、11
并联路数	$a = 1$	绕组系数	$K_w = 0.957$

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例是 30 槽二极电动机主要选用的绕组型式。绕组属分数线圈绕组，每相由 3 只同心线圈和 2 只同心线圈组反极性串联而成。主要应用实例有 Y112M-2、Y2-160L-2 等。

3. 绕组嵌线方法

绕组可用两种嵌法，但由于线圈跨距大，交叠嵌法的难度较大，故一般常用整嵌构成三平面结构。整嵌的顺序是：嵌完 U 相再嵌 V 相，嵌完 V 相嵌 W 相，使三相绕组端部分置于三个平面上。

四、三相 36 槽二极双层叠式（$y = 13$）绕组布线接线图（图 2-47）

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q = 36$	极相槽数	$q = 6$

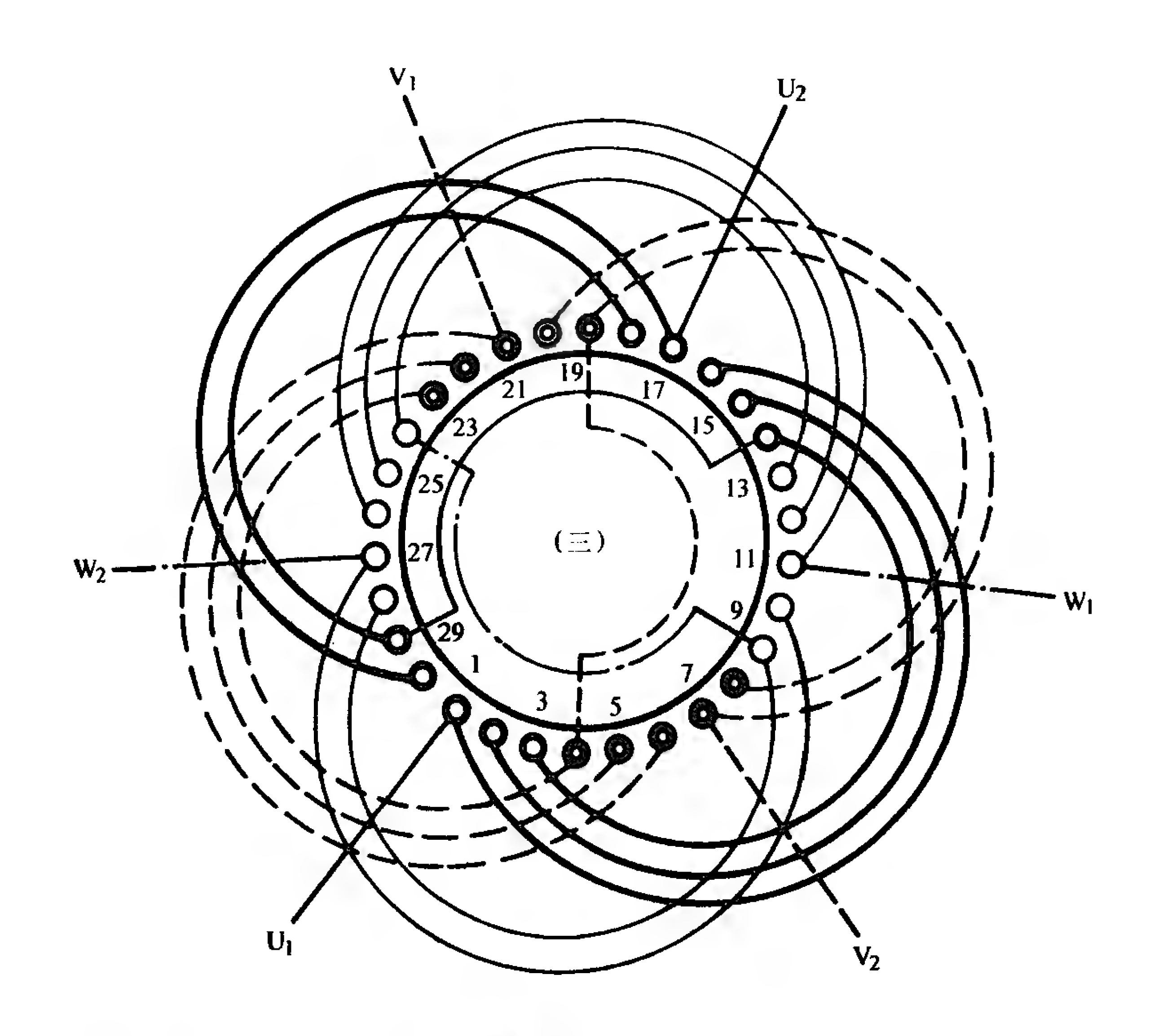


图 2-46 三相 30 槽二极单层同心交叉式绕组布线

线圈组数 $u=6$ 每组圈数 $S=6$

绕组极距 $\tau=18$ 绕组系数 $K_w=0.866$

2. 绕组布接线特点及应用举例

绕组选用较短节距使二极电动机获得较宽的极面，从而利于降低运行噪声和平稳运行；较短的节距也利于嵌线，但绕组系数较低。主要应用实例有 Y2-200L2-2 等。

3. 绕组嵌线方法

绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 13。嵌线顺序是：每嵌好一槽向后退，依次逐槽嵌入，直至完成。

五、三相 36 槽二极双层叠式($y=13$，$a=2$)绕组布线接线图
(图 2-48)

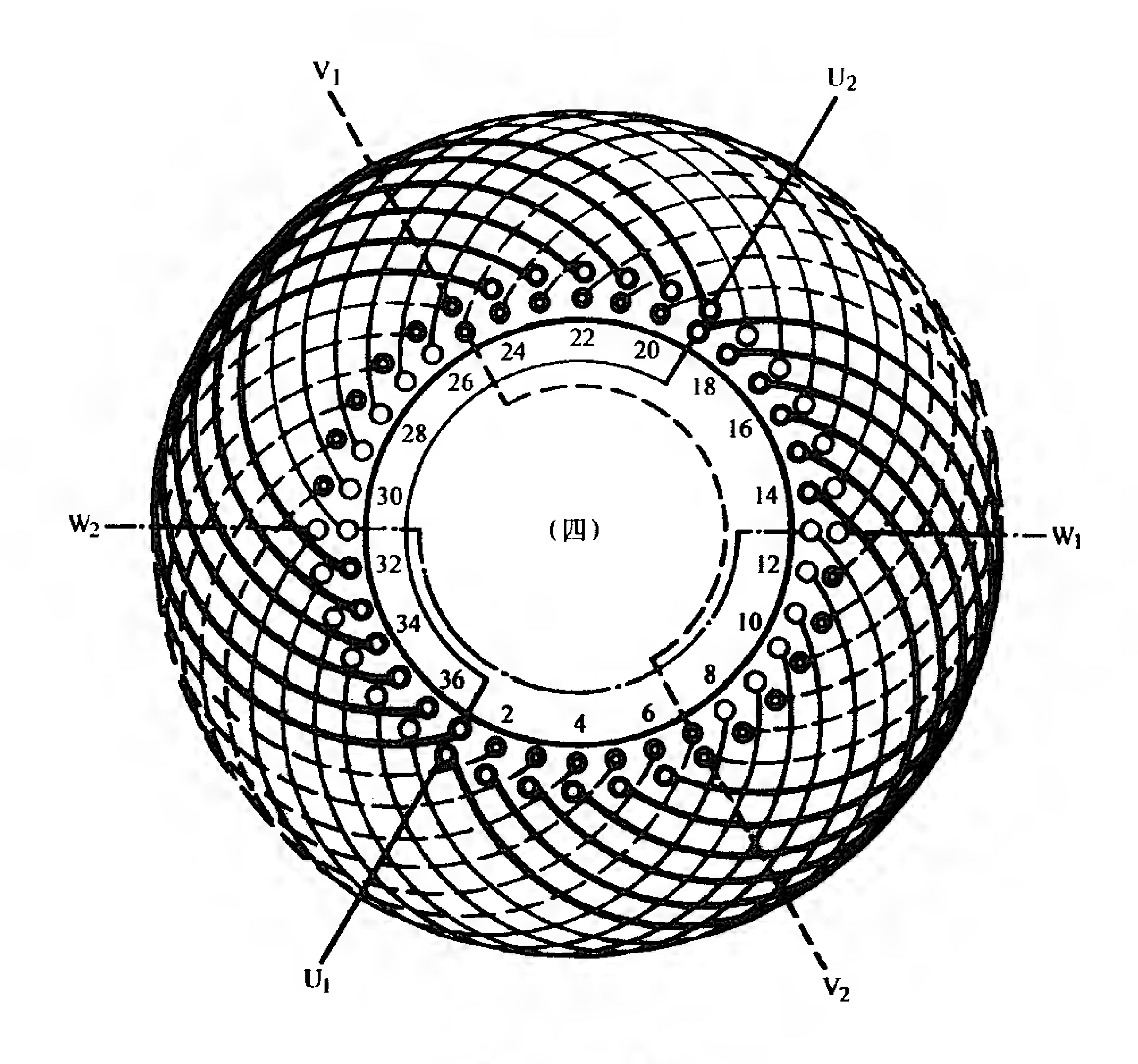


图 2-47　三相 36 槽二极双层叠式($y=13$)绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=36$	极相槽数	$q=6$
线圈组数	$u=6$	每组圈数	$S=6$
绕组极距	$\tau=18$	线圈节距	$y=13$
并联路数	$a=2$	绕组系数	$K_w=0.866$

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例绕组布接线特点基本同上例，但改用二路并联接线，为确保显极接线的要求，使同相两组线圈电流极性相反，故将进线从同槽的两组线圈首尾引出，如图所示；另一引线也同样引出。主要应用实例有 Y250M-2、Y2-180M-2 等。

3. 绕组嵌线方法

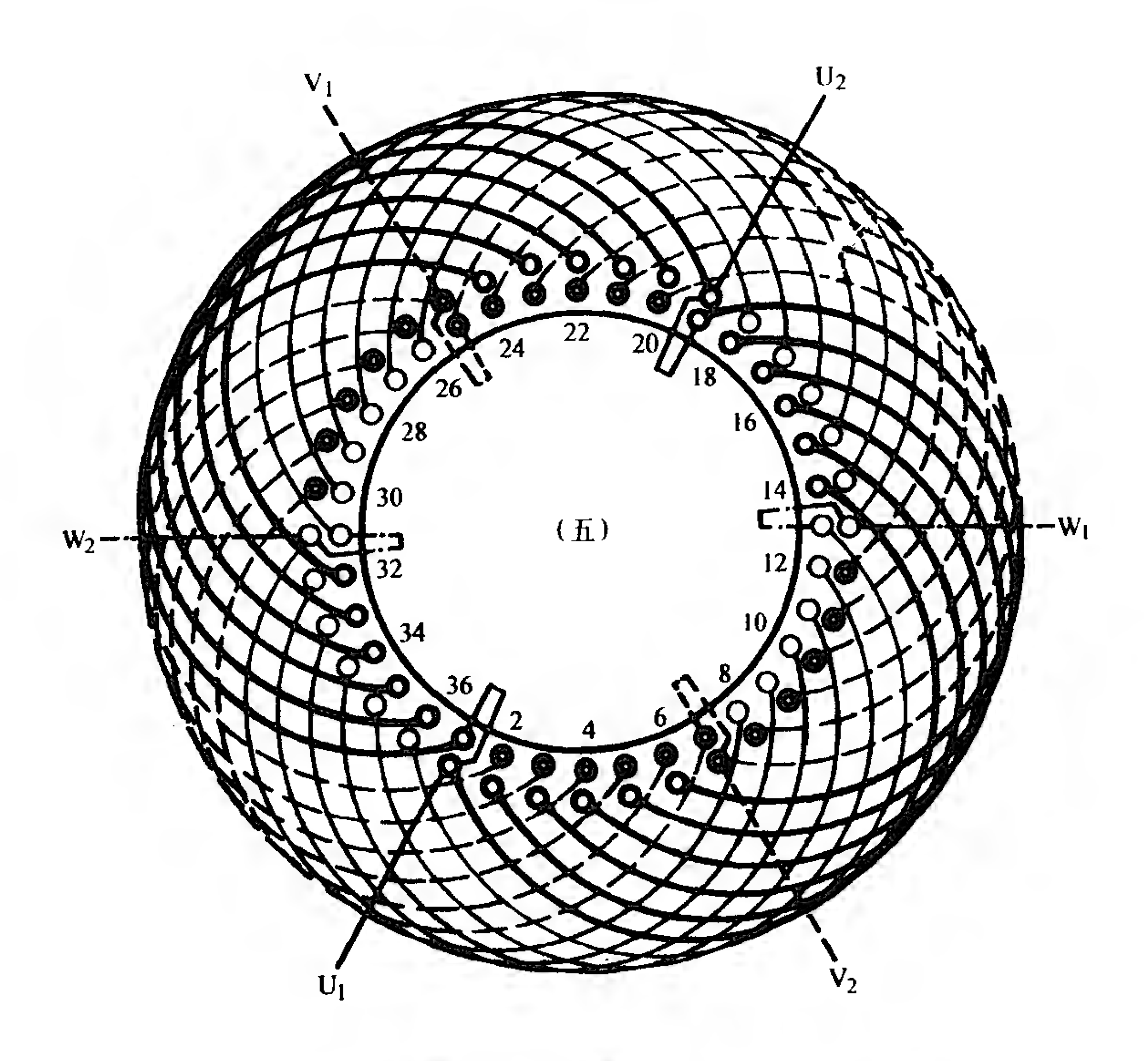


图 2-48 三相 36 槽二极双层叠式($y=13$,$a=2$)绕组布线

绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 13。嵌好一槽向后退，嵌至第 14 只线圈可整嵌，下层边嵌完后可将原来吊起的 13 个线圈边逐一嵌入。

六、三相 42 槽二极双层叠式($y=15$、$a=2$)绕组布线接线图(图 2-49)

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=42$	极相槽数	$q=7$
线圈组数	$u=6$	每组圈数	$S=7$
绕组极距	$\tau=21$	线圈节距	$y=15$
并联路数	$a=2$	绕组系数	$K_w=0.864$

2. 绕组布接线特点及应用举例

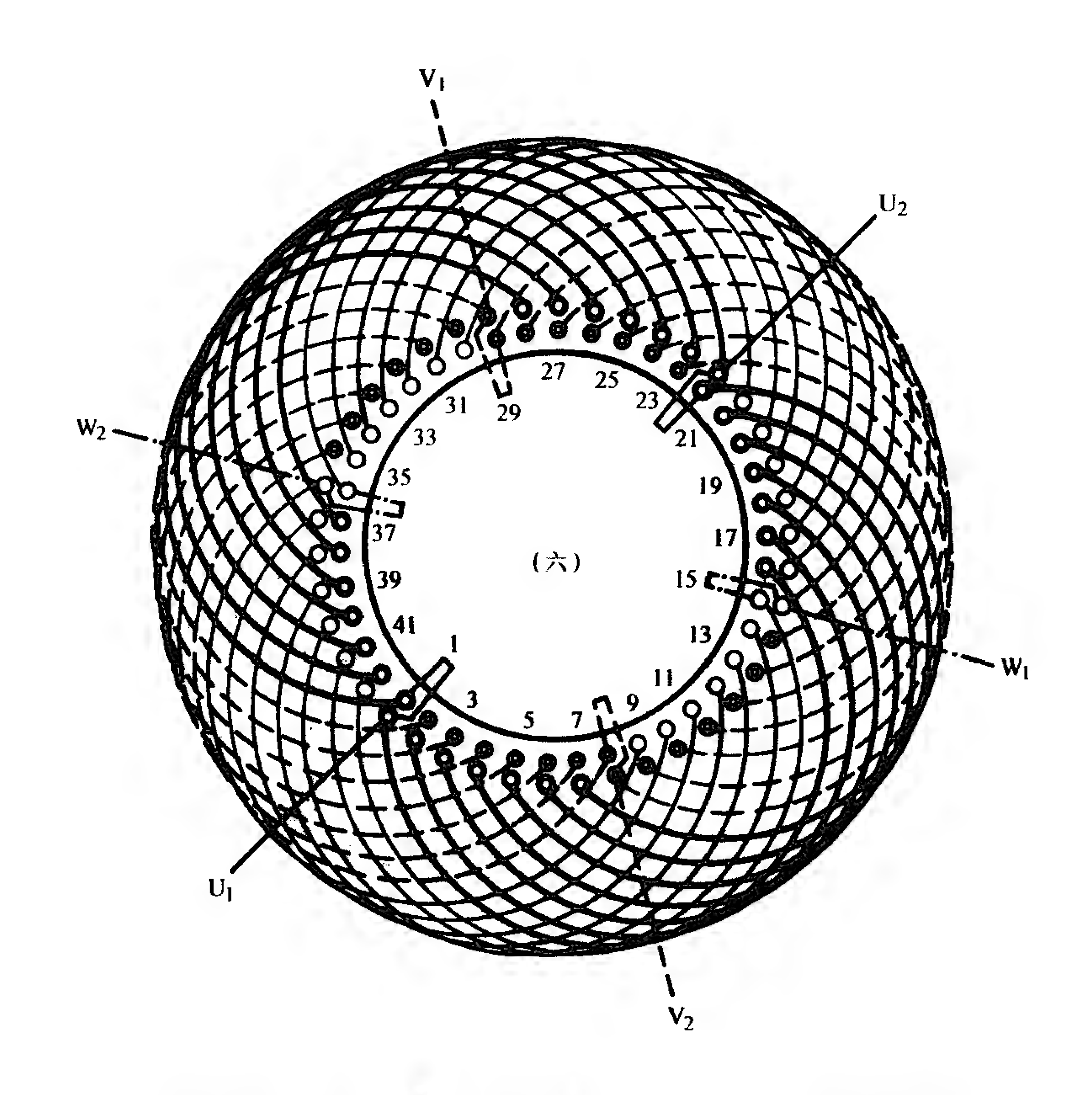


图 2-49　三相 42 槽二极双层叠式($y=15$、$a=2$)绕组布线

此绕组属于槽数较多的二极电动机，由于极距宽，交叠嵌线吊边较多，为了减少操作难度，线圈选用较短的节距，故绕组系数稍低。绕组主要用于容量较大的小型电动机，如 Y-280S2、Y2-280M-2 等。

3. 绕组嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，嵌线顺序是嵌完一槽往后退，嵌至 16 槽以后可整嵌，下层满后再把 15 个吊边逐一嵌入相应槽上层。

七、三相 48 槽二极双层叠式($y=17$, $a=2$)绕组布线接线图(图 2-50)

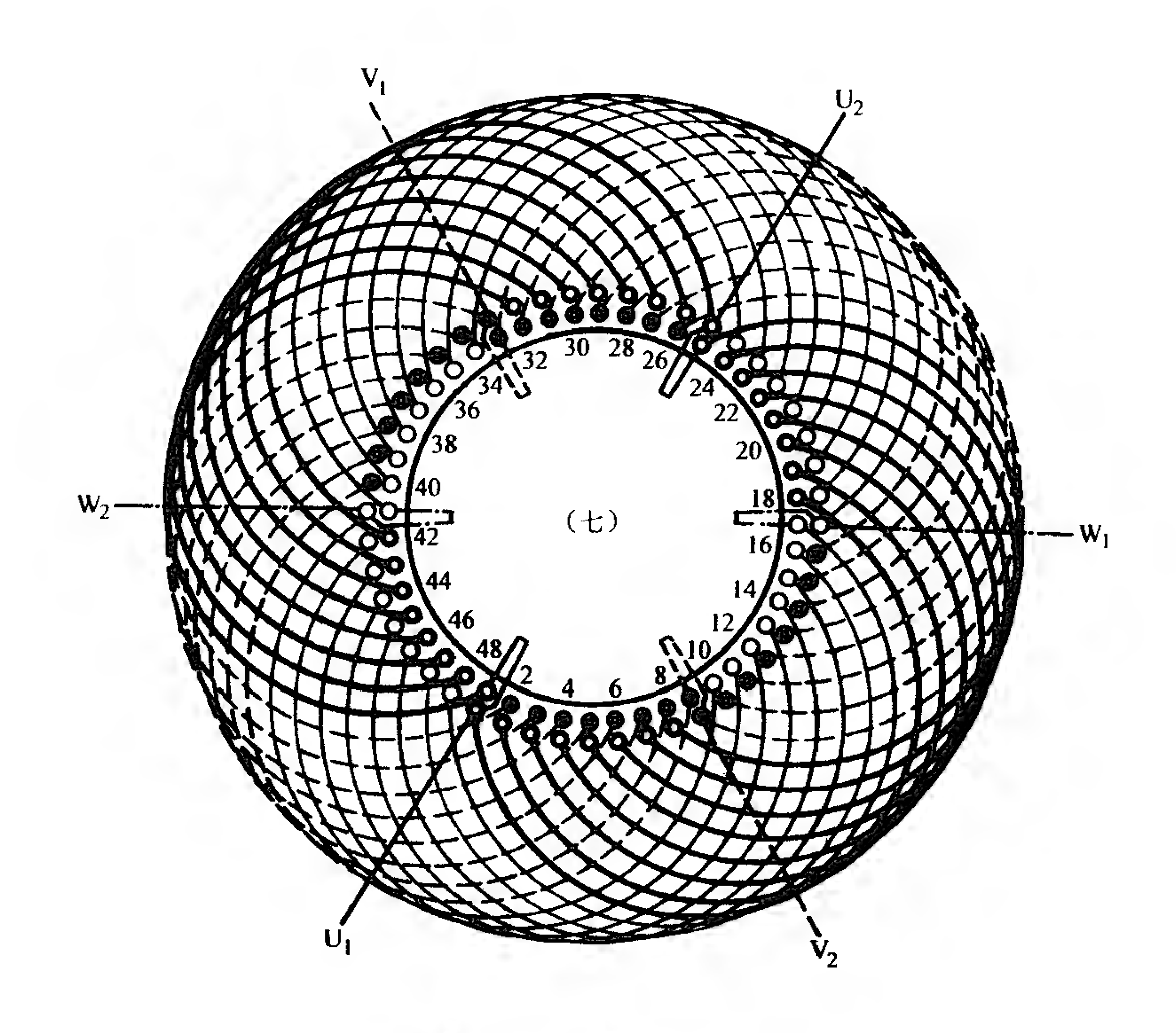


图 2-50 三相 48 槽二极双层叠式($y=17$、$a=2$)绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=48$	极相槽数	$q=8$
线圈组数	$u=6$	每组圈数	$S=8$
绕组极距	$\tau=24$	线圈节距	$y=17$
并联路数	$a=2$	绕组系数	$K_w=0.858$

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例是槽数较多的二极电动机绕组，它采用正常范围内的较短节距，但由于槽数多，嵌线时的吊边数多达 17 个；每组线圈由 8 只交叠线圈顺串而成，每相两组是同槽接入构成二路并联，如图所示。此绕组一般只用于定子内腔较大的中型二极电机。主要应用实例有 Y-315M1-2、Y2-315L2-2 等。

3. 绕组嵌线方法

绕组采用交叠嵌线，吊边数 17。嵌线顺序是嵌好一槽往后退，连续嵌入 17 槽，以后线圈可整嵌；下层满后将吊边逐一嵌入。

八、三相 24 槽四极单层链式绕组布线接线图(图 2-51)

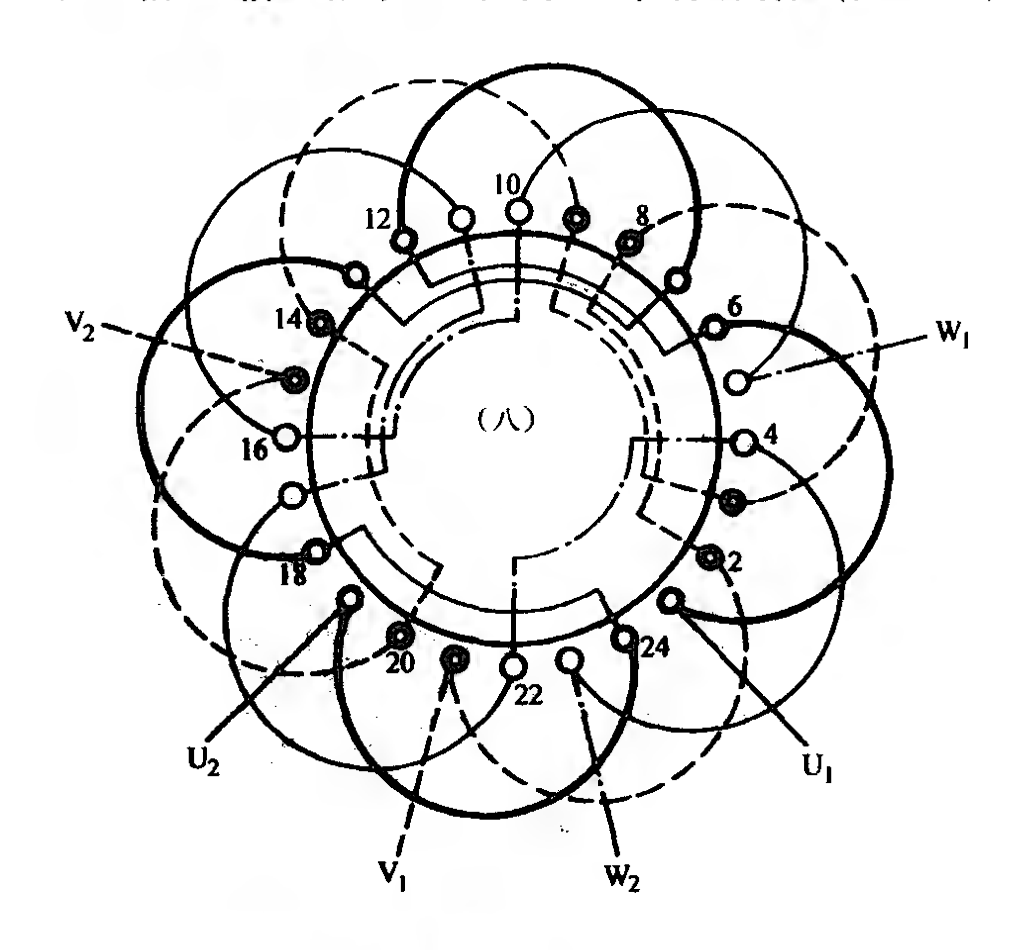


图 2-51　三相 24 槽四极单层链式绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=12$	极相槽数	$q=2$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=1$
绕组极距	$\tau=6$	线圈节距	$y=5$
并联路数	$a=1$	绕组系数	$K_w=0.966$

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例是 4 极电动机常用布线型式之一，每组仅有一只线圈，每相由 4 只线圈显极布线，即相邻线圈反接串联。此型式绕组无论是一般用途或专用系列电动机都有较多的采用，应用实例有

Y-90S-4、Y2-802-4 以及 600JA12-4 等排风扇电动机等。

3. 绕组嵌线方法

嵌线可用交叠法或整嵌法，但整嵌将构成三平面结构，使端部显得较累赘，故一般都选用交叠嵌线。嵌线规律是嵌入一槽向后退，空出一槽再嵌一槽，前面吊边 2 个。

九、三相 36 槽四极单层交叉式绕组布线接线图(图 2-52)

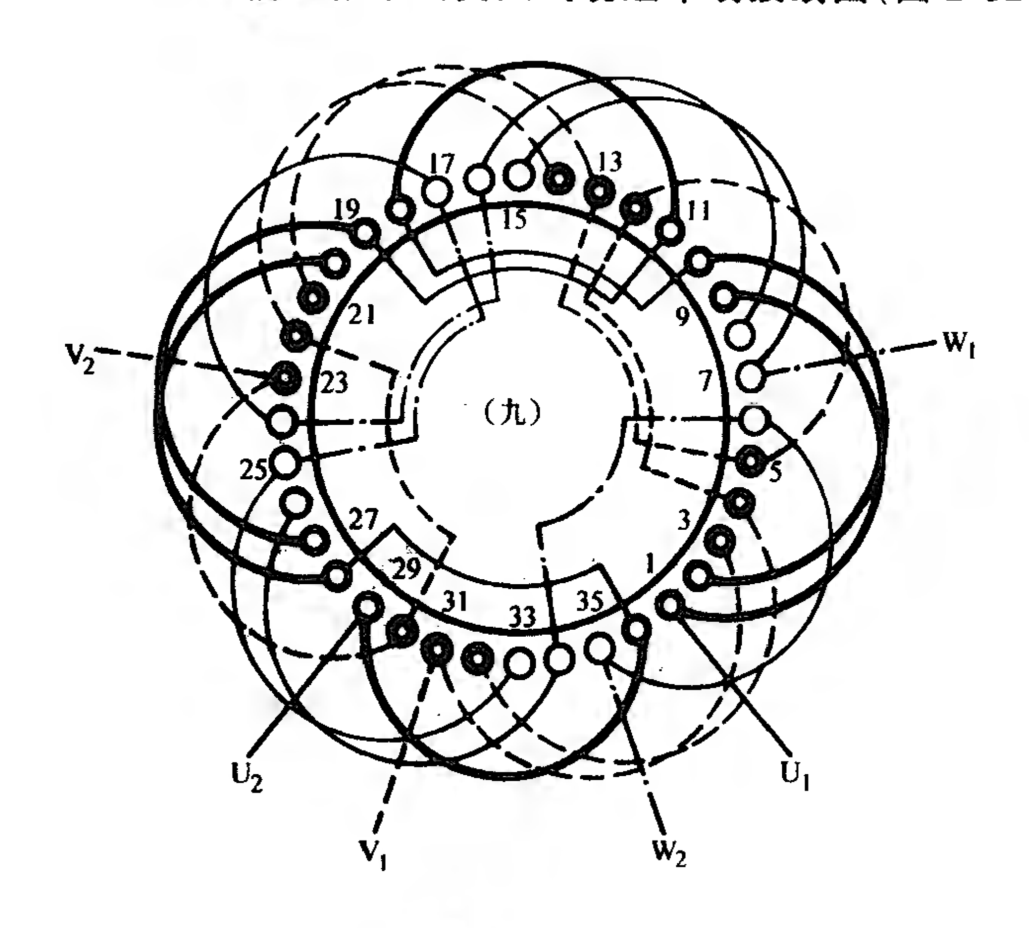


图 2-52　三相 36 槽四极单层交叉式绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=18$	极相槽数	$q=3$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=1\frac{1}{2}$
绕组极距	$\tau=9$	线圈节距	$y=8$、7
并联路数	$a=1$	绕组系数	$K_w=0.96$

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例是单层交叉绕组基本型式(图 2-44)的倍极绕组。它是不等距显极布线，每相由 2 个双圈组和 2 个单圈组交替分布，双圈线圈节距 $y_D=1\sim9$，单圈节距 $y_x=1\sim8$，组间电流极性相反，

即接线是“尾接尾”或“头接头”。此绕组是36槽四极电动机采用的主要型式，新系列Y2-132S-4、Y-100L2-4等都采用此绕组。

3. 绕组嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，吊边数为3。习惯从双圈组起嵌，其嵌线顺序是嵌入2槽（沉边），退空1槽（浮边），嵌入1槽（沉边），再退空2槽（浮边），循此进行，直至完成。

十、三相36槽四极单层交叉式（$a=2$）绕组布线接线图（图2-53）

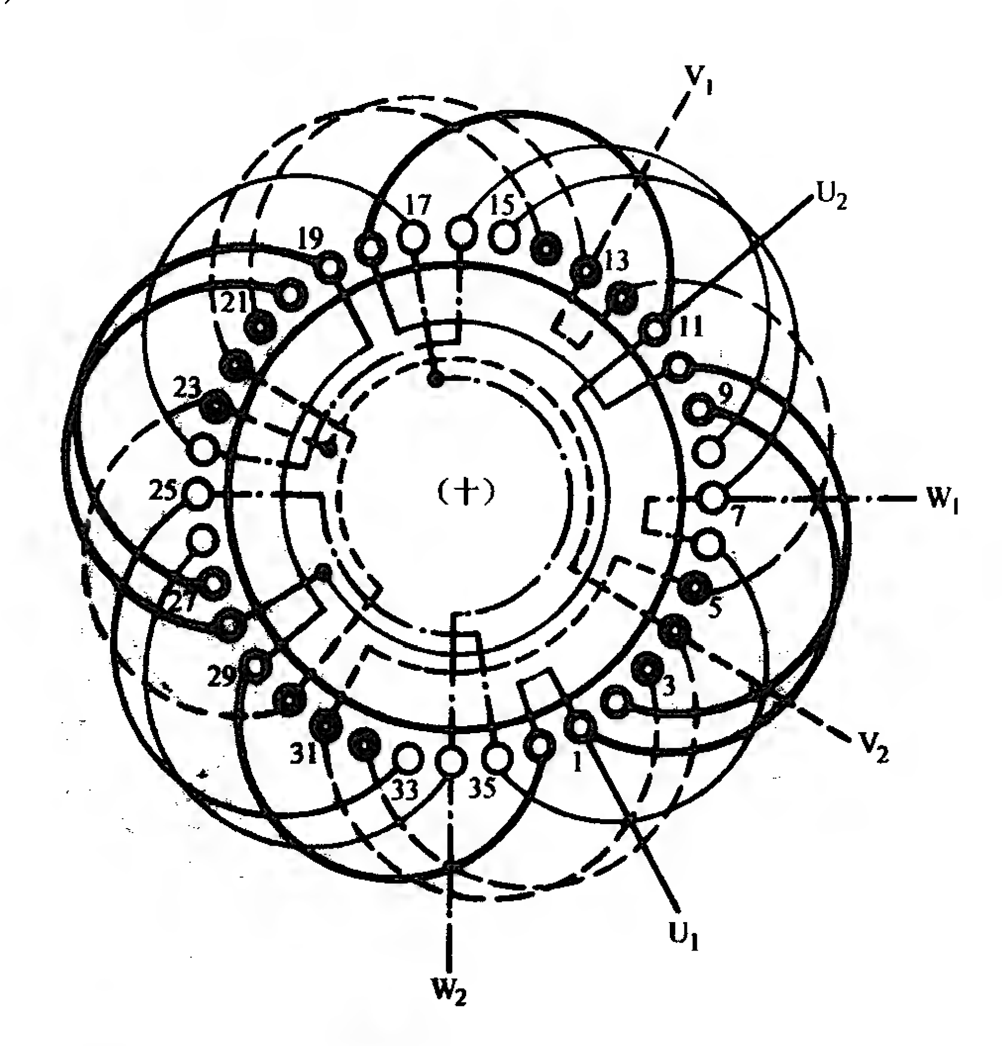


图2-53 三相36槽四极单层交叉式（$a=2$）绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=18$	极相槽数	$q=3$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=1\frac{1}{2}$
绕组极距	$\tau=9$	线圈节距	$y=8$、7

并联路数　$a=2$　　　绕组系数　$K_w=0.96$

2. 绕组布接线特点及应用举例

绕组采用不等距显极布线，每相分别由交叠双圈组和单圈组交替轮换对称分布。绕组采用二路并联，故每支路由单、双圈各一组串联而成，并用短跳接法并使两组反向串联。并联两支路走向相反，即如图所示，进线从 1、4 组接入，其中一支路从头端接入，并逆时方向走线；另一支路从尾端接入而顺时方向走线，从而保证同相相邻线圈组极性相反的原则。绕组应用实例有 Y-160M-4 和 BJO2-32-4 隔爆型三相异步电动机等。

十一、三相 48 槽四极双层叠式($y=10, a=2$)绕组布线接线图(图 2-54)

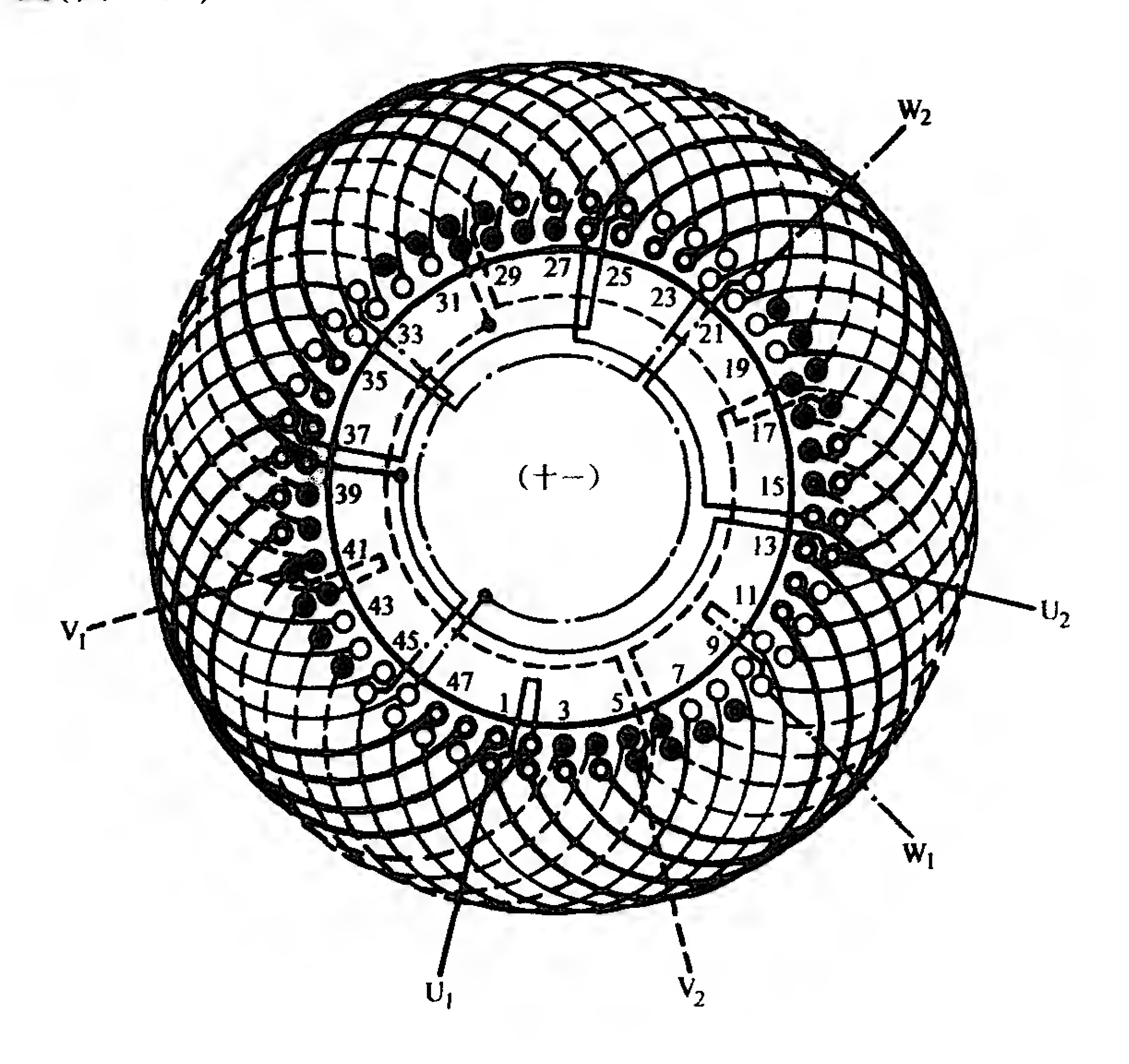


图 2-54　三相 48 槽四极双层叠式($y=10, a=2$)绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q = 48$	极相槽数	$q = 4$
线圈组数	$u = 12$	每组圈数	$S = 4$
绕组极距	$\tau = 12$	线圈节距	$y = 10$
并联路数	$a = 2$	绕组系数	$K_w = 0.92$

2. 绕组布接线特点及应用举例

定子 48 槽一般属功率较大的小型电机，由于导线截面积大，通常都采用多路接线，本例则是二路并联，进线后分左右两路反极性串联，使同相相邻线圈组反极性。此绕组是电机产品应用较多的布接线型式之一。主要应用实例有 Y-180L-4、Y2-250M-4 等。

3. 绕组嵌线方法

绕组采用交叠法，吊边数为 10。嵌线规律是嵌入一槽向后退，再嵌一槽再后退，循此进行。

十二、三相 48 槽四极双层叠式($y = 11, a = 4$)绕组布线接线图(图 2-55)

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q = 48$	极相槽数	$q = 4$
线圈组数	$u = 12$	每组圈数	$S = 4$
绕组极距	$\tau = 12$	线圈节距	$y = 11$
并联路数	$a = 4$	绕组系数	$K_w = 0.949$

2. 绕组布接线特点及应用举例

绕组节距较上例增加 1 槽，绕组系数略有提高，但嵌线吊边也增加 1 个。另外，并联支路数也增至四路，则每支路仅有一线圈组，因此每相绕组接线时，1、3 组从头进尾出；2、4 组则从尾进头出，以确保同相相邻线圈组的极性相反。应用实例有 Y-225S-4、Y2-225M-4 及 YR-225M2-4 等。

3. 绕组嵌线方法

本例采用交叠嵌线，吊边数为 11。嵌线规律是嵌入一槽向后退，再嵌一槽再后退，嵌至 12 圈整嵌，下层满后嵌吊边。

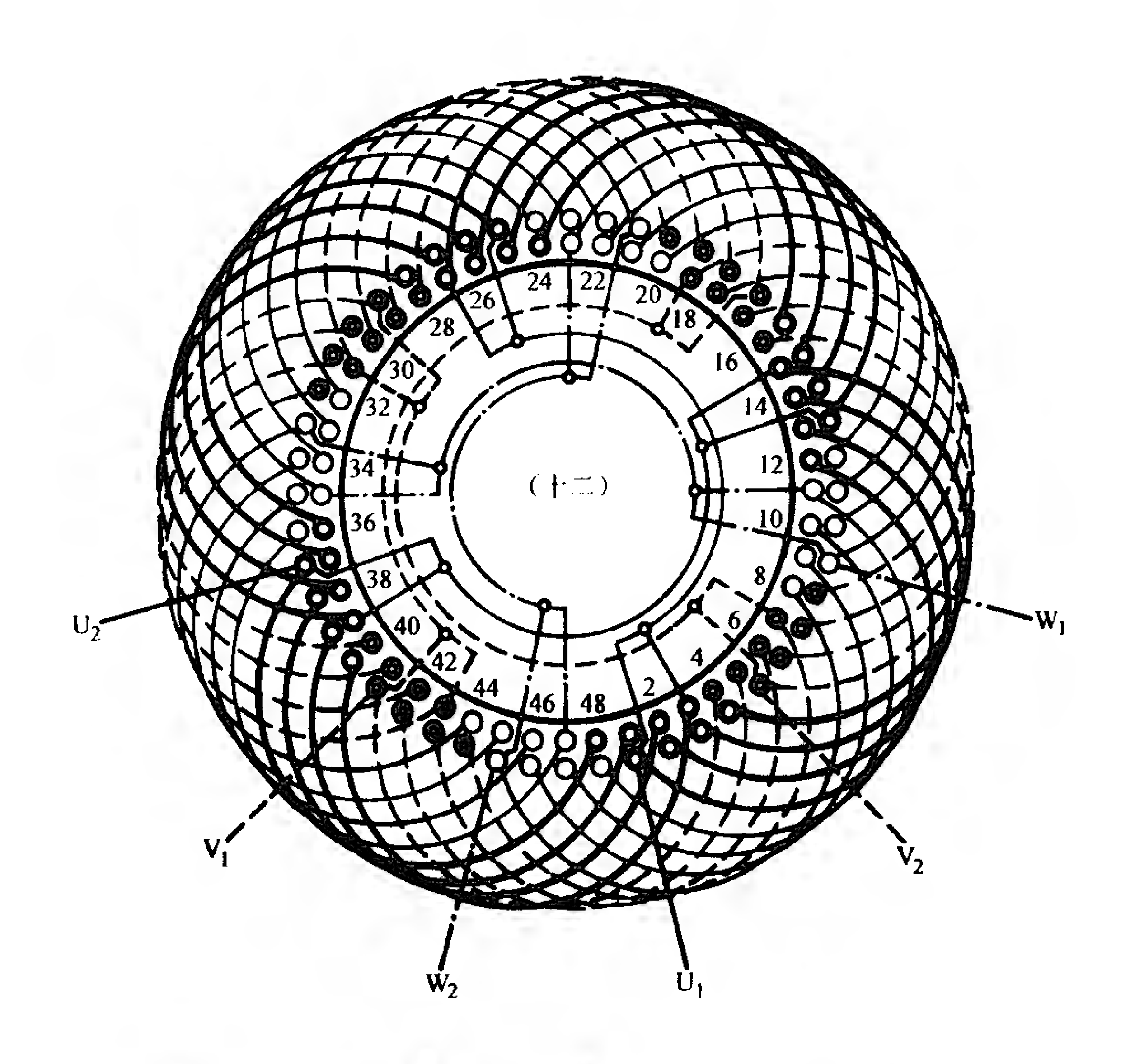


图 2-55　三相 48 槽四极双层叠式($y=11, a=4$)绕组布线

十三、三相 36 槽六极单层链式绕组布线接线图(图 2-56)

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=18$	极相槽数	$q=2$
线圈组数	$u=18$	每组圈数	$S=1$
绕组极距	$\tau=6$	线圈节距	$y=5$
并联路数	$a=1$	绕组系数	$K_w=0.966$

2. 绕组布接线特点及应用举例

绕组采用显极式布线，每组仅用一只线圈，故每相线圈数等于极数，为使同相相邻线圈反极性，接线采用反接串联；因极相占 2 槽，而两槽有效边电流方向相同，但线圈端部反折，从而形成单链特色。此绕组是小型 6 极电动机中应用较多的布线型式。

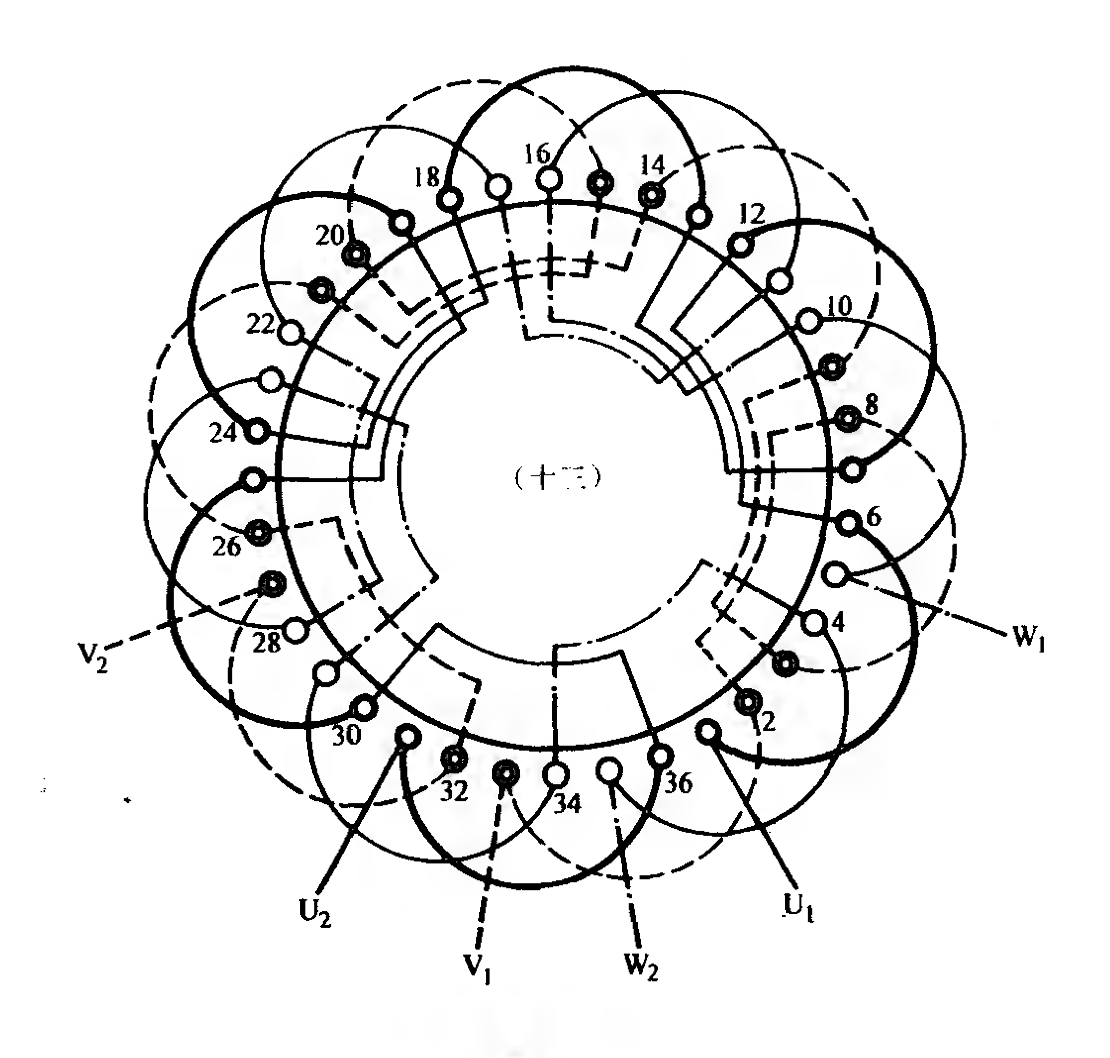


图 2-56　三相 36 槽六极单层链式绕组布线

主要实例有 Y-160L-6、Y2-112M-6 等。

3. 绕组嵌线方法

嵌线可用交叠法或整嵌法，整圈嵌线虽不用吊边，但其端部构成三平面，修理中较少采用。交叠法嵌线需吊 2 边，且因节距较短，在操作上并未构成太多的困难，故常用之。嵌线规律是嵌好一槽往后退，空出一槽嵌一槽，余类推。

十四、三相 54 槽六极双层叠式($y=8$, $a=2$)绕组布线接线图(图 2-57)

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=54$	极相槽数	$q=3$
线圈组数	$u=18$	每组圈数	$S=3$
绕组极距	$\tau=9$	线圈节距	$y=8$
并联路数	$a=2$	绕组系数	$K_w=0.946$

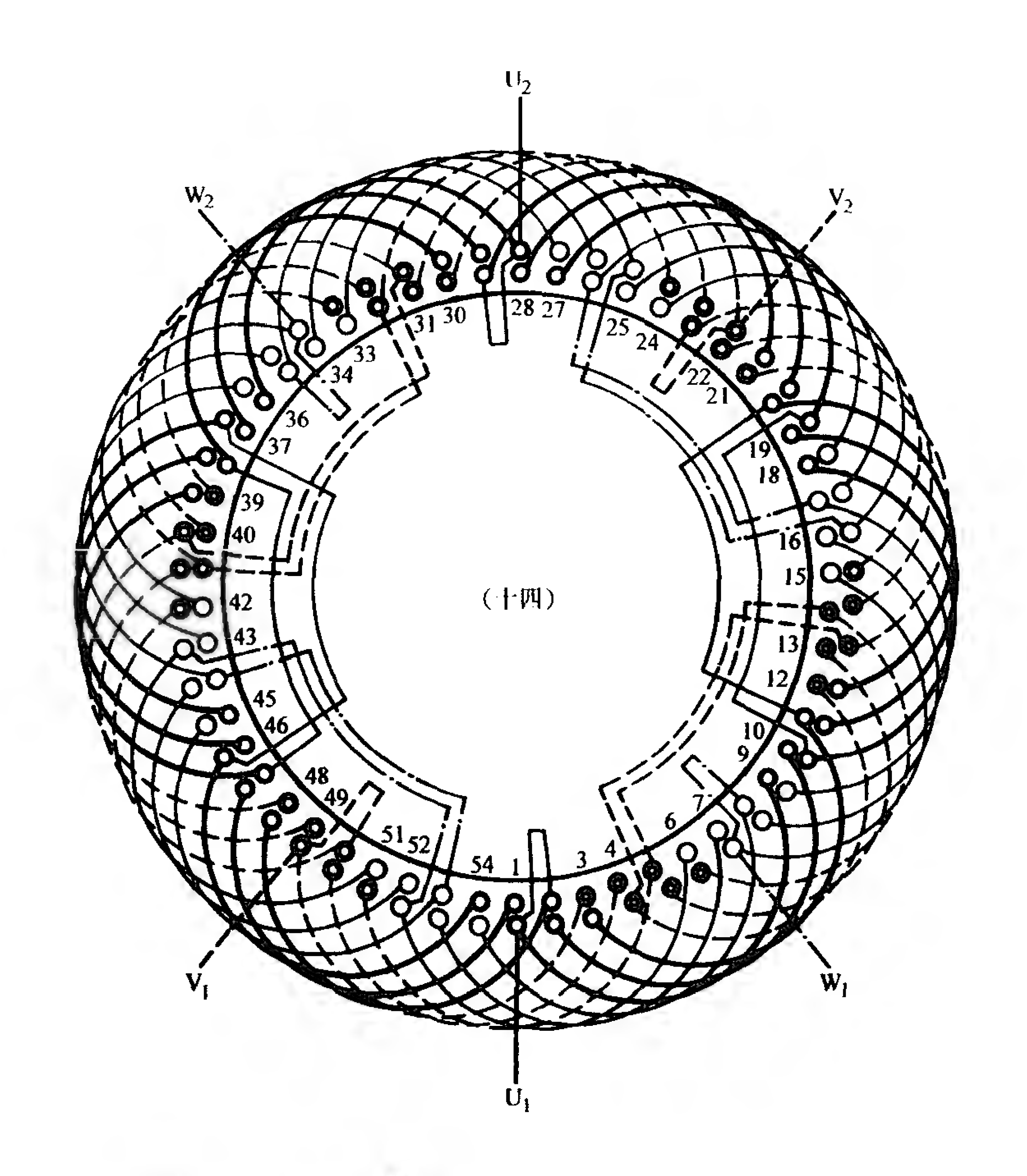


图 2-57　三相 54 槽六极双层叠式($y=8, a=2$)绕组布线

2. 绕组布接线特点及应用举例

54 槽定子属大体积电机，定子内腔一般较大，嵌线不会困难，但电流较大，通常采用多路并联方案。本例则是二路并联，绕组进线后分左右两方向接线，每支路由 3 线圈组按正反极性串联，务必使同相相邻线圈组的极性相反。此绕组是六极电动机常用型式，主要应用实例有 Y2-200L2-6，Y-180L-6 等。

3. 绕组嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，吊边数为 8。嵌线顺序是嵌入一槽向

后退，再嵌一槽再后退，嵌至9圈可整嵌，循此嵌线，直至完成。

十五、三相54槽六极双层叠式($y=8$, $a=3$)绕组布线接线图(图2-58)

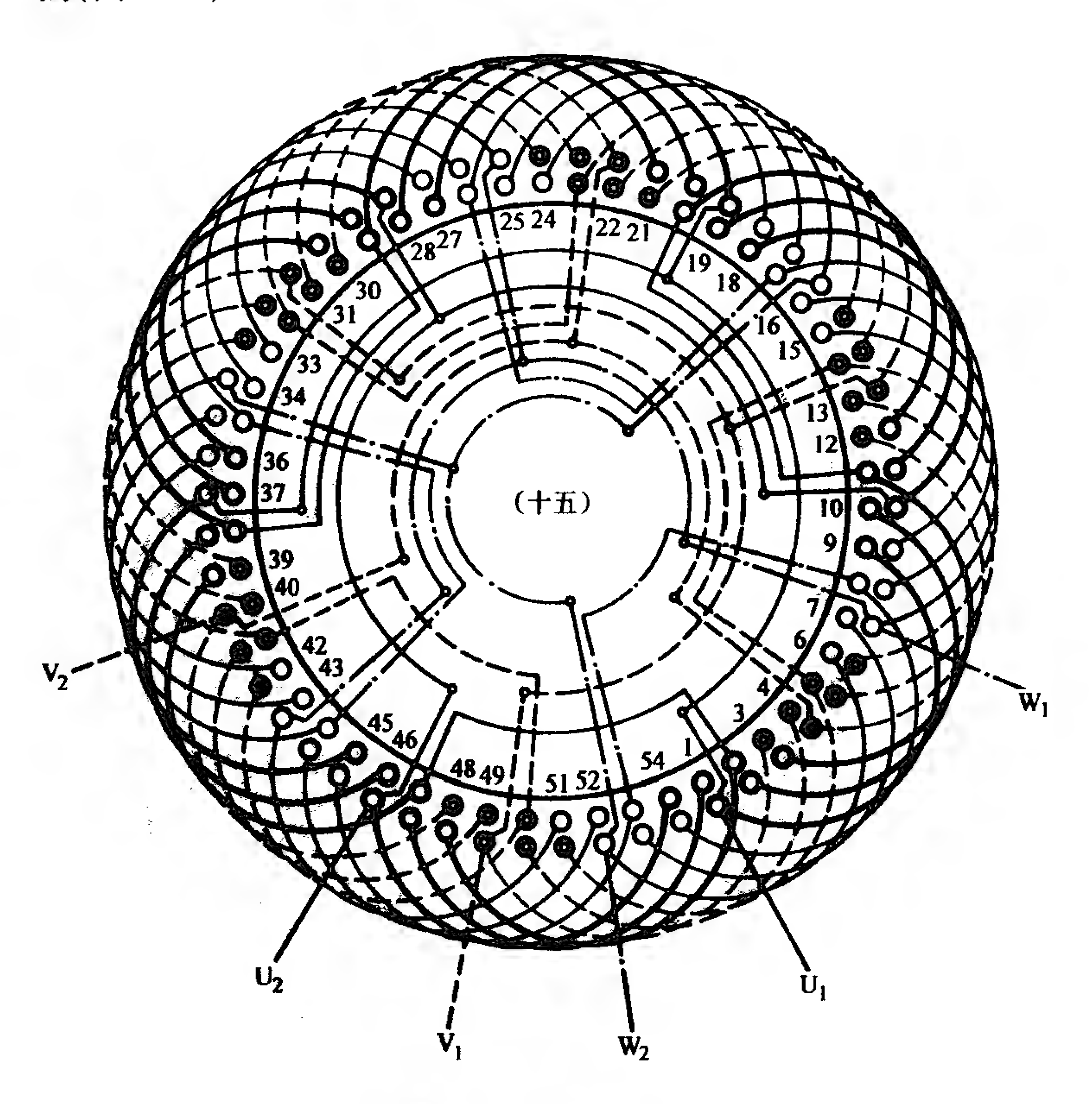


图2-58　三相54槽六极双层叠式($y=8$, $a=3$)绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=54$	极相槽数	$q=3$
线圈组数	$u=18$	每组圈数	$S=3$
绕组极距	$\tau=9$	线圈节距	$y=8$
并联路数	$a=3$	绕组系数	$K_w=0.946$

2. 绕组布接线特点及应用举例

绕组特点与上例基本相同，但采用二路并联接线，每一支路由正反两组线圈组成。主要应用实例有 Y2-225M-6 等。

3. 绕组嵌线方法

嵌线采用交叠法，吊边数为 8。嵌线规律是每嵌一槽向后退，循此逐个嵌下去。

十六、三相 36 槽八极双层叠式($y=4$)分数绕组布线接线图(图 2-59)

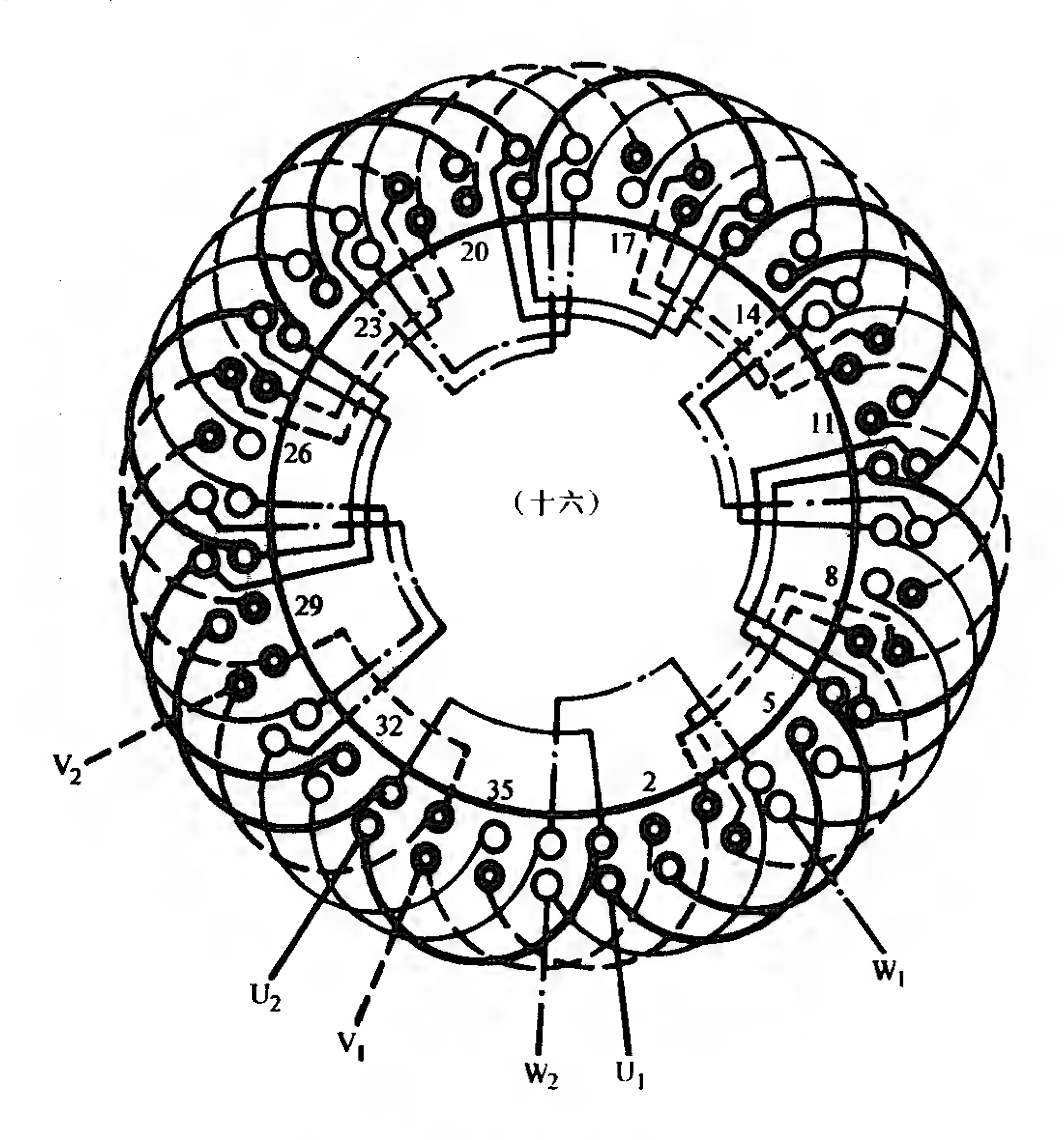


图 2-59 三相 36 槽八极双层叠式($y=4$)分数绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数 $Q=36$ 极相槽数 $q=1\frac{1}{2}$

线圈组数 $u=24$ 每组圈数 $S=1\frac{1}{2}$

绕组极距　$\tau = 4\frac{1}{2}$　　线圈节距　$y = 4$

并联路数　$a = 1$　　绕组系数　$K_w = 0.946$

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例是分数绕组，每极相组线圈数为1½的分数，故要采用归并的办法解决½的“半圈”问题，使实施线圈数为2圈和1圈，并按2 1 2 1…的循环规律分布。所以每相绕组由4个双圈组和4个单圈组交替轮换并正反串接。绕组主要应用实例有Y2-802-8等。

3. 绕组嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，吊边数为4。嵌线顺序是每嵌一槽向后退，依次逐槽嵌下去，当下层边嵌满后，可将吊边逐槽嵌入。

十七、三相48槽八极单层链式绕组布线接线图(图2-60)

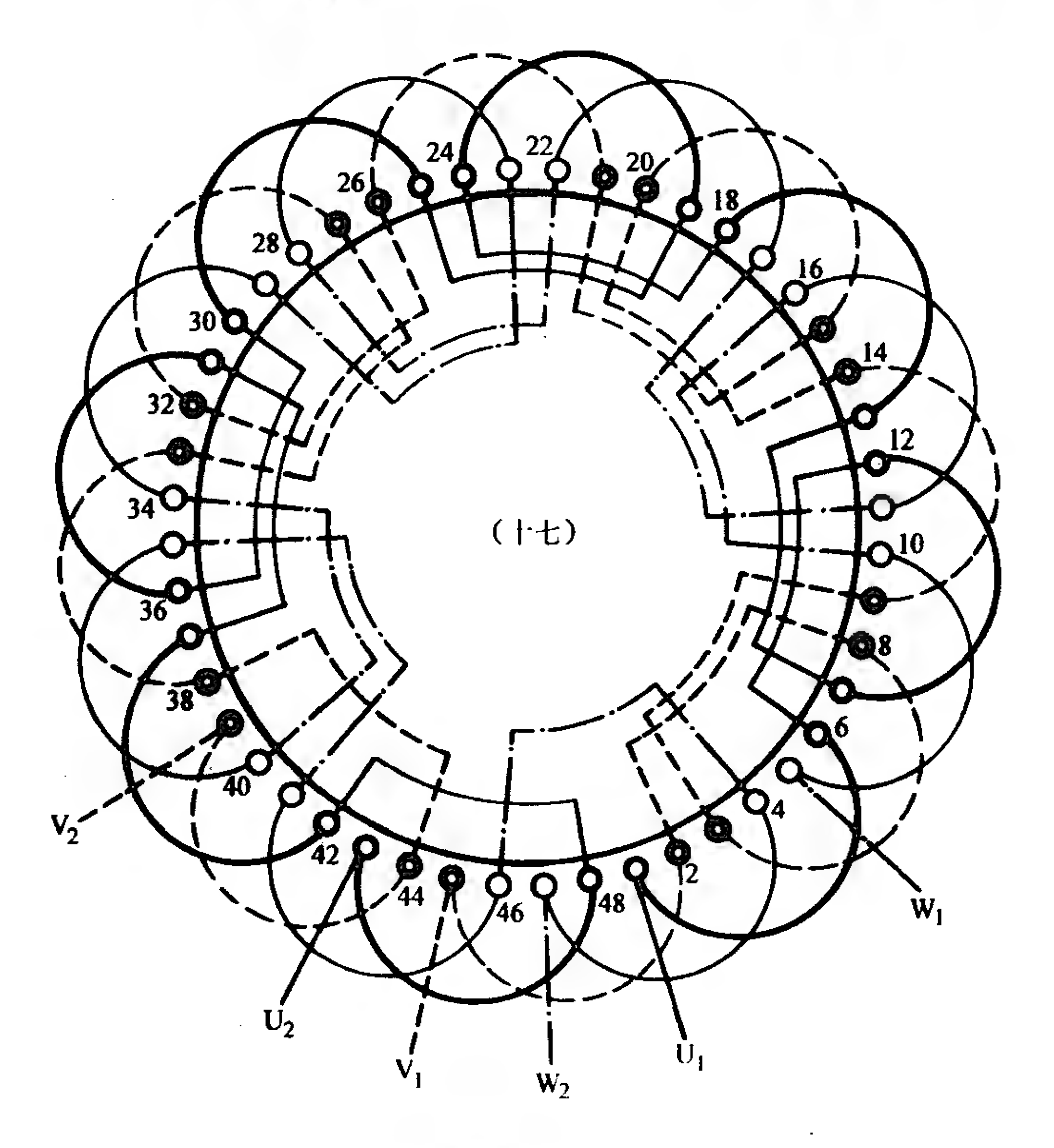


图2-60　三相48槽八极单层链式绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=24$	极相槽数	$q=2$
线圈组数	$u=24$	每组圈数	$S=1$
绕组极距	$\tau=6$	线圈节距	$y=5$
并联路数	$a=1$	绕组系数	$K_w=0.966$

2. 绕组布接线特点及应用举例

绕组是显极布线，线圈节距比极距短 1 槽，但仍属全距绕组。绕组每相由 8 只线圈串联而成，同相相邻线圈极性相反，即“尾与尾”或“头与头”相接。此绕组实际应用也较多，主要实例有 Y2-132M-8、Y-160M2-8、YR250M2-8 等。

3. 绕组嵌线方法

绕组可用两种方法嵌线，但实际只用交叠法，嵌线规律是嵌好一槽往后退，空出一槽再嵌一槽，循此进行，吊边数 2。

十八、三相 48 槽八极双层叠式($y=5$，$a=2$)绕组布线接线图(图 2-61)

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=48$	极相槽数	$q=2$
线圈组数	$u=24$	每组圈数	$S=2$
绕组极距	$\tau=6$	线圈节距	$y=5$
并联路数	$a=2$	绕组系数	$K_w=0.933$

2. 绕组布接线特点及应用举例

8 极绕组极距较短，本例采用短 1 槽的线圈节距，可获得较高的绕组系数。每相绕组由 8 组双圈组成，分左右两支路连接，每支路 4 组线圈，按正反极性交替连接。绕组应用实例有 Y2-225M-8 等。

3. 绕组嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，吊边数为 5。嵌线规律是嵌入一槽向后退，依次逐槽嵌下去，当下层边嵌满后，可把吊边逐个嵌入。

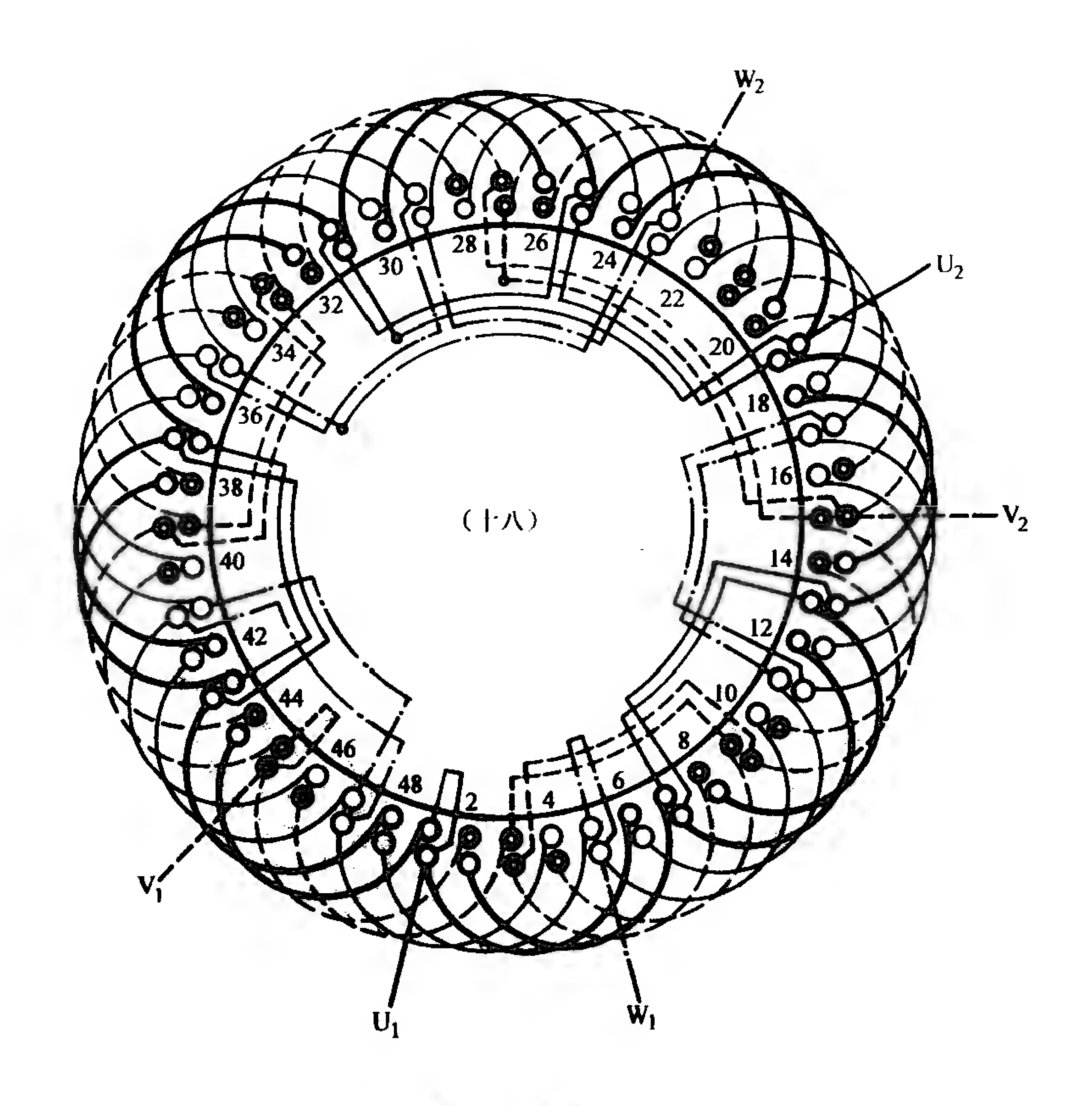


图 2-61 三相 48 槽八极双层叠式($y=5$, $a=2$)绕组布线

十九、三相 54 槽八极双层叠式($y=6$, $a=2$)分数绕组布线接线图(图 2-62)

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=54$	极相槽数	$q=2\frac{1}{4}$
线圈组数	$u=24$	每组圈数	$S=2\frac{1}{4}$
绕组极距	$\tau=6\frac{3}{4}$	线圈节距	$y=6$
并联路数	$a=2$	绕组系数	$K_w=0.941$

2. 绕组布接线特点及应用举例

此例是分数绕组，每组由 3、2 圈组成，三相绕组按 3 2 2 2

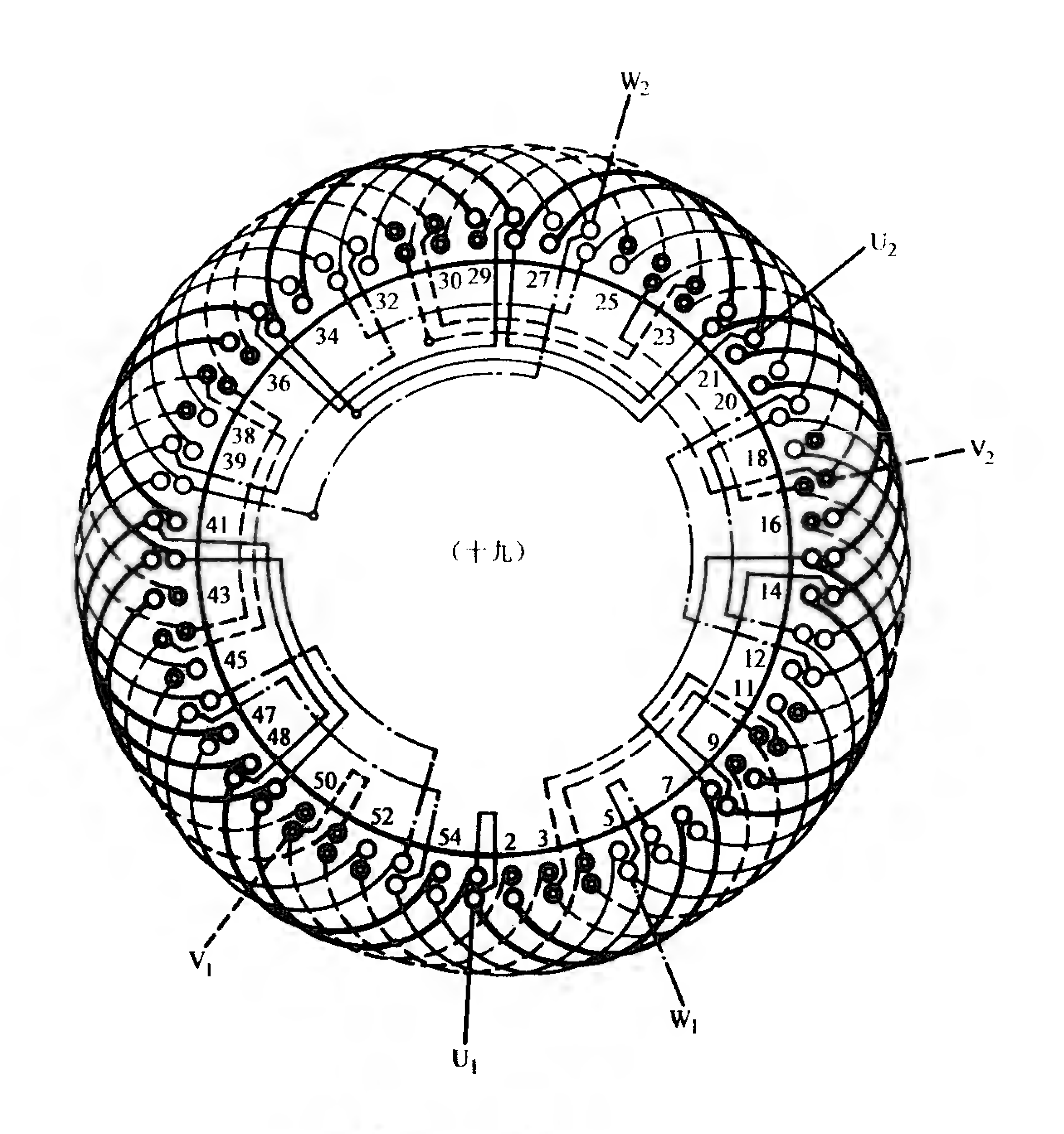


图 2-62　三相 54 槽八极双层叠式($y=6$, $a=2$)分数绕组布线

循环规律分布于定子。三相绕组不能满足互差 120°电角进线的要求，但仍按 1、3、5 组引入。绕组采用二路并联，进线后按左右两路走线，每一支路由 4 组线圈按一正一反串联而成。应用实例有 Y-180L-8 等。

3. 绕组嵌线方法

绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 6。嵌线按 3 2 2 2…循环规律嵌入，嵌线操作与其他双叠绕组相同，即嵌入一槽向后退，依次逐槽嵌入，至第 9 只线圈可整嵌，下层满后嵌入吊边。

二十、三相 36 槽十极双层叠式($y=3$)分数绕组布线接线图(图 2-63)

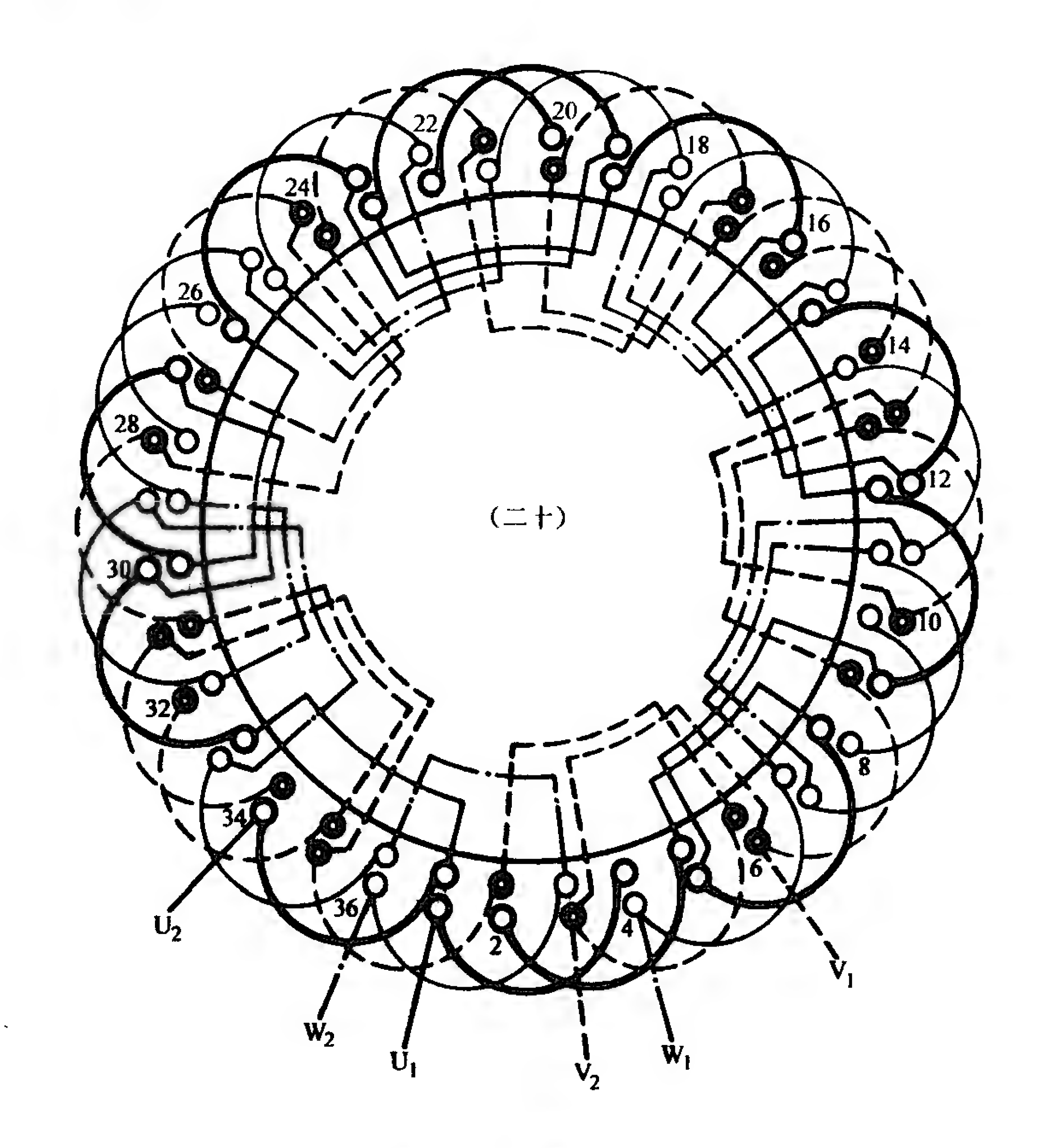


图 2-63 三相 36 槽十极双层叠式($y=3$)分数绕组布线

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=36$	极相槽数	$q=1\frac{1}{5}$
线圈组数	$u=30$	每组圈数	$S=1\frac{1}{5}$
绕组极距	$\tau=3\frac{3}{5}$	线圈节距	$y=3$
并联路数	$a=1$	绕组系数	$K_w=0.923$

2. 绕组布接线特点及应用举例

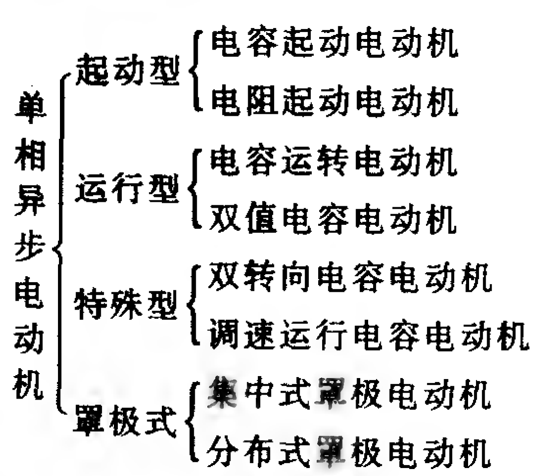
本例绕组系分数绕组，绕组在定子上的分布循环规律是 2 1 1 1 1。绕组采用显极布线，每相由 10 组线圈组成，并按相邻线圈组极性相反串接而成。此绕组实际应用于辊道用异步电动机 JG2-42-10。

3. 绕组嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，吊边数为 3。嵌线操作是嵌入一槽往后退，嵌完 3 槽可整嵌，下层满后嵌吊边。因此系分数绕组，单、双圈组应参照布接线图按循环规律安排。

第三节　单相电动机与单相绕组

单相电动机一般是指由单相交流电源供电的交流异步电动机，常设计用于 220V 市电电源，也有少数用于低电压或高频电源。单相电动机主要应用于日常生活中的家用电器，也用于办公设备及工农业生产的附属设备。作为动力用途的单相异步电动机可按结构分类如下：



一、单相电动机的电路原理结构

单相电动机主要结构有定子、转子及起动装置。定子铁心槽内分别嵌入主绕组和辅绕组；转子采用鼠笼型；起动装置控制一触点的通断，串接于单相电动机辅绕组，如图 2-64a、b 所示。起动装置有多种型式，常用的是离心式自动开关。它装在转子一侧的轴上，其结构有两种，一种是甩臂式离心开关，应用于早期的单相电动机。由于存在结构缺陷，工作可靠性不理想，目前多

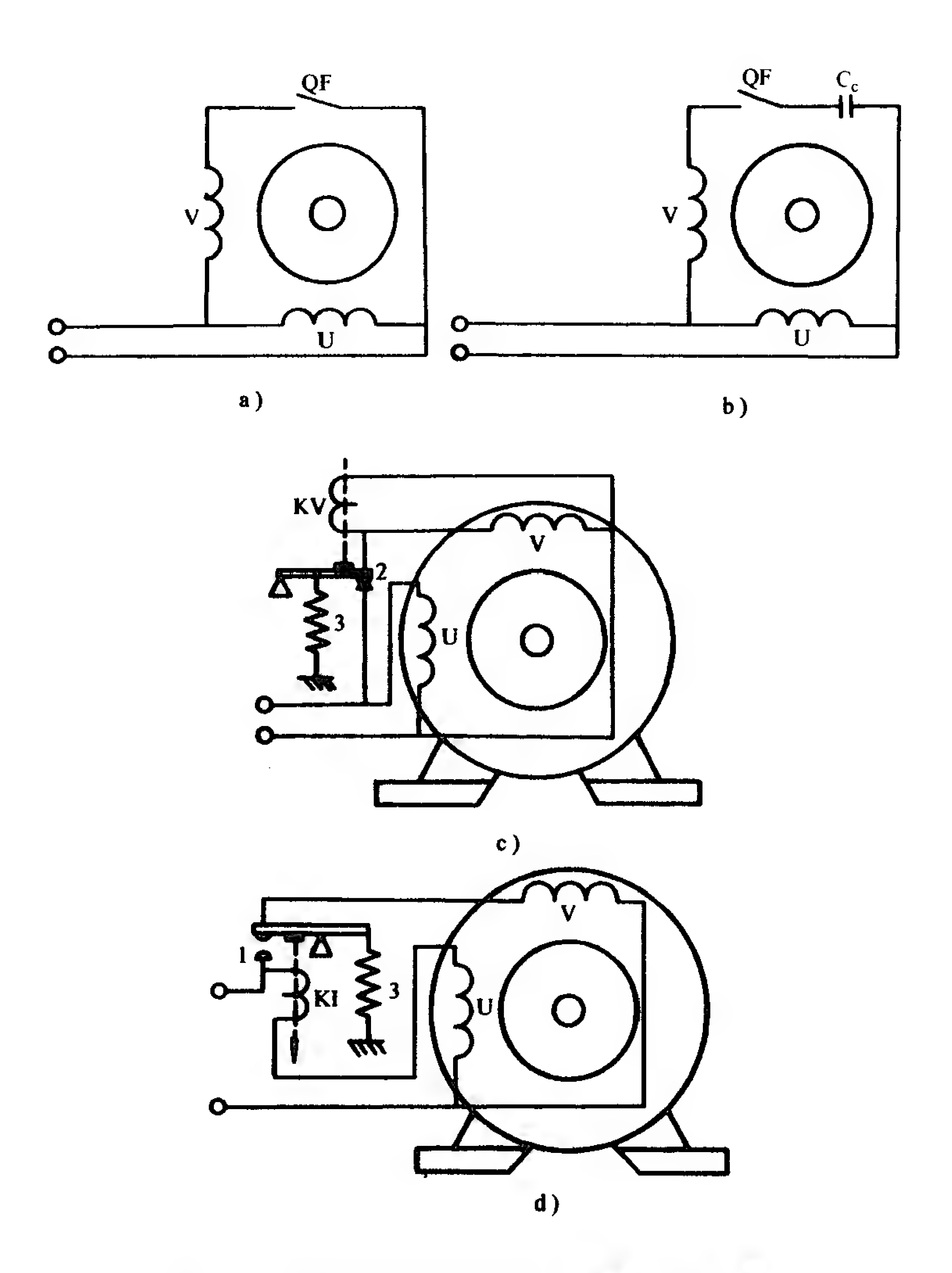


图 2-64 起动型单相电动机起动线路与起动装置
a）电阻分相起动 b）电容分相起动 c）电压型起动继电器起动
d）电流型起动继电器起动 U—主绕组 V—辅绕组
QF—自动开关 C_c—起动电容器 KI—电流线圈
KV—电压线圈 1—常开触点 2—常闭触点 3—弹簧

用如图 2-65 的簧片式离心开关所替代。起动前，离心开关将辅绕组接入电路，与主绕组并联起动，当电动机起动转速达到约为额定转速的 75% 左右时，重臂受离心力作用而克服张力弹簧而外张，带动拨杆将绝缘套移向轴的右方，簧片释放触点，断开辅绕组回路，使主绕组单独运行工作。

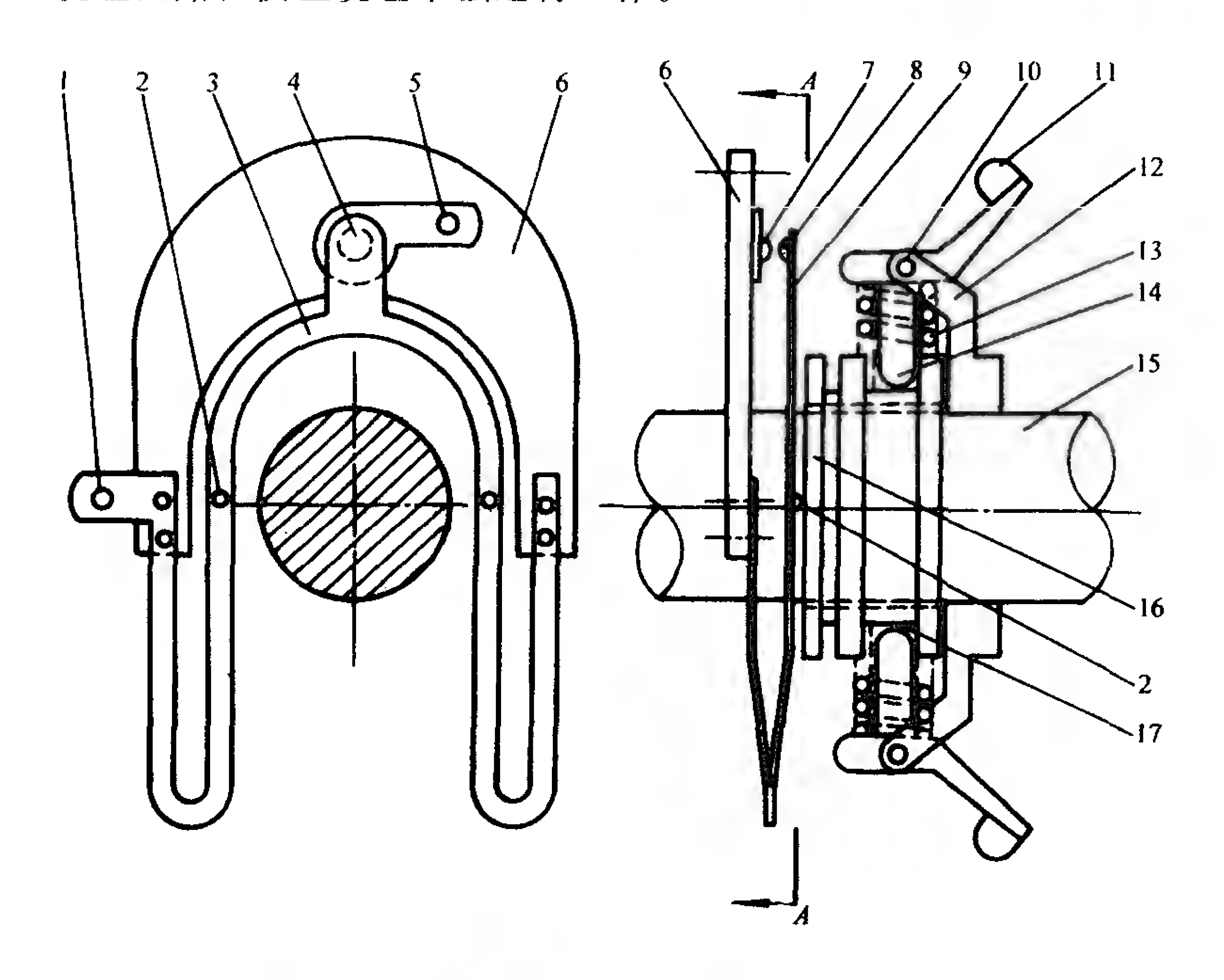


图 2-65 簧片式离心开关原理结构图

1—动触点引线点 2—顶压点 3—U 型弹簧触点臂 4—触点
5—定触点引出点 6—固定在电动机端盖内的绝缘底板 7—定触点
8—动触点 9—U 型弹簧触点臂 10—活梢 11—离心臂重锤
12—固定在轴上的支架 13—张力弹簧 14—拨杆 15—电动机转子轴
16—绝缘套 17—滑槽

由于离心开关装在电动机内部的转子轴上，出现故障的频率较高，检查和维修要停机并拆开电机进行，很不方便，故目前已较多地选用起动继电器。图 2-64c、d 是电压型和电流型起动继电器，它们虽可装在机外，便于维修和调整，但触点在临界工作

的可靠性并未根本改观，为此，综合上述两种继电器的优点而设计成如图 2-66 所示的差动式起动继电器，它具有维修调整方便，工作稳定可靠，但结构较复杂，价格也高，宜用于功率较大的电机。

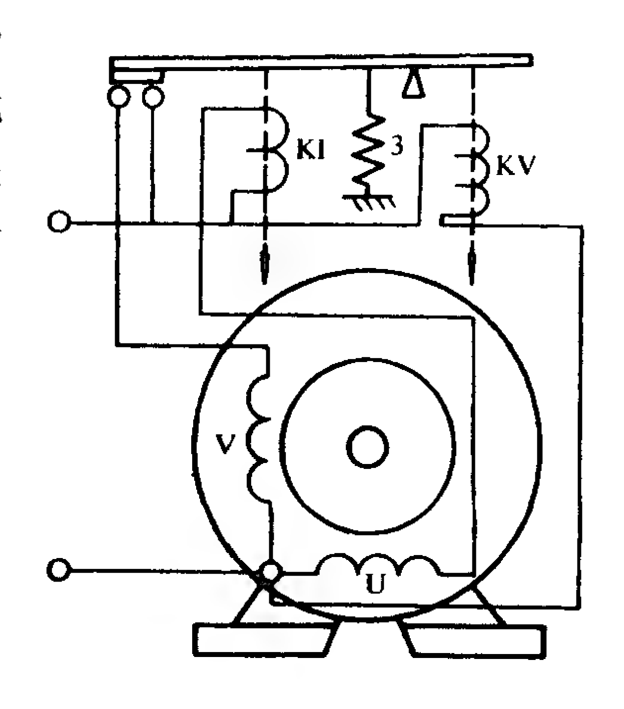


图 2-66　差动式起动继电器起动线路和结构示意图

1. 起动型单相电动机

起动型电动机又称分相电动机，它有电容分相起动和电阻分相起动两种型式。

图 2-67a 是电容起动电动机的电路原理，主绕组(U)直接接入电源；辅绕组(V)与起动元件的电容器(C_c)串联后，通过起动开关(S_1)再与主绕组并联。由于辅绕组接入电容器，将使主、辅绕组的电流产生近 90°的相位差，从而建立起动转矩。

电阻起动的电路原理如图 2-67b 所示，它的起动元件是电阻器(R_0)，其移相效果略逊于电容器，但它可取消外接的电阻，而将辅绕组设计成高内阻绕组，即用较少匝数及较细的导线绕制，或选用特制的高阻值绝缘导线绕制辅绕组，甚至还可采用部分反绕匝数来增加辅绕组电阻，使其在电路阻抗中的电感分量减小而电阻分量增加，以其内阻(R_0)代替外接电阻而成为阻性负载电路。由于电感电流滞后于电阻电流，故起动时的主绕组电流滞后辅绕组相位 φ，从而使定子绕组产生旋转磁场。因起动后辅绕组退出工作，所以，起动型单相电动机的辅绕组也称起动绕组。

2. 运行型单相电动机

广义来说，辅绕组不脱离电源并参与运行的单相电动机都属运行型。但为了区别其他特殊型式，这里所指主要包括图2-67c、d 两种。

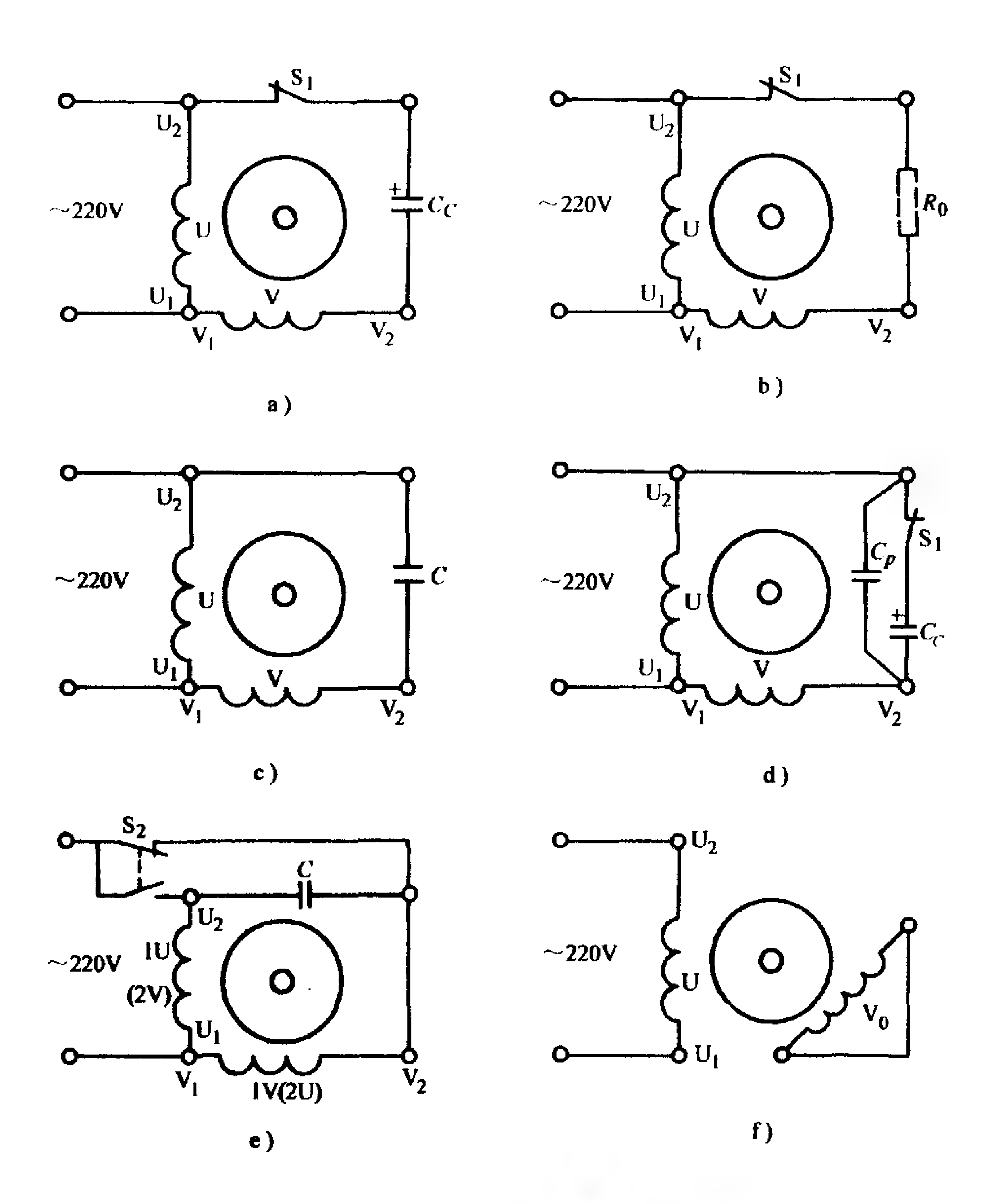


图 2-67 单相异步电动机电路结构原理图

a）电容起动电动机 b）电阻起动分相电动机 c）电容运转电动机

d）双值电容电动机 e）双转向电容电动机 f）罩极电动机

U—主绕组 V—辅(起动)绕组 V_0—短路罩极绕组

C_C—起动电容器 C—起动、运行电容器 C_p—运行电容器

S_1—起动按钮 S_2—转换开关 R_0—起动电阻

图 C 是应用最多的单相电动机，其结构与起动型的主要区别是没有起动开关，因此，无论起动或运转，辅绕组都接在电源上参与工作，但由于电容器与辅绕组串联后长期通电，其电容量较小，一般仅用几微法的电容器，通常称此为电容电动机。它具有较高的功率因数和运行效率，过载能力也较强等优点，但由于所选电容器要兼顾起动与运行，故起动转矩不足，只能用于空载或轻载起动的场合。

为了提高电容电动机的起动性能，并保持较优的运行特性，从而派生出如图 2-67d 的双值电容电动机。即在原电路的基础上，在原运行电容器 C_p 两端，通过起动开关 S_1 并接一只大容量的起动电容器 C_C。起动时，两只电容器并联，辅绕组的容性分量增加，使主、辅绕组相位角加大，起动转矩也增加，当转速达到规定值时，自动开关 S 断开起动电容器 C_C，辅绕组仍串联运行电容与主绕组并联运行。所以，双值电容电动机既有较高的起动转矩，又能获得良好的运行性能。

3. 特殊型单相电动机

双转向电容电动机也是由基本型式派生的特殊品种。图 2-67e 是一台特殊设计的电容运转电动机，它的主、辅绕组参数完全相同(一般电机主、辅绕组的匝数、线径是不同的)，配接上一套双投转换开关 S，当开关触点(上)闭合时，(2U)直接电源成为主绕组，(2V)则与电容 C 串联后再接入电源而成辅绕组运行。若反转时则上触点断开，下触点闭合，这时原(2V)变成主绕组 1U；(2U)则变成辅绕组 1V。这种电动机用于要求正反转工作特性相同的场合，实用上常见于洗衣电动机。

单相抽头调速电动机也是电容电动机的特殊型式。电路原理结构如图 2-68 所示，除主绕组(U)、辅绕组(V)外，还附加了一个调速绕组(T)。工作于高速时，电源通过开关从 O 点接入，主绕组全压接入电源；辅绕组除与电容器串联外，还串入调速绕组。转换到低速时，电源接入点移到 O' 点，主绕组与调速绕组串联起来接到电源，而主绕组从电源上所获分压将减小，电动机

带负载减速运行。由此可见，附加的调速绕组是转接于主、辅绕组之间，故又称中间绕组。这种调速电动机只适宜使用在负载随转速递减的场合，所以目前应用于调速电风扇和空调风扇等扇类负载。

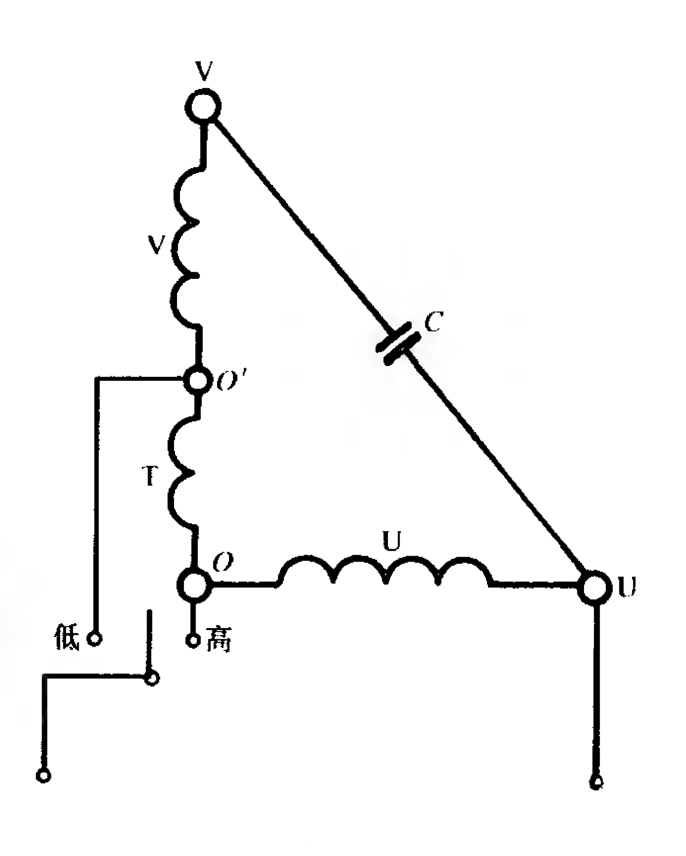


图 2-68 抽头调速电动机电路接线原理示例

U—主绕组 V—辅绕组 T—调速绕组

4. 罩极电动机

罩极电动机属结构最简单的机种，其定子有两种型式，一种是凸极式，其电动机磁极在定子上凸现，如图 2-69 就是凸极式罩极电动机四极定子结构图示例。另一种是分布式，定子铁心与普通电动机多槽铁心相同，线圈安排与一般单相电动机一样，即主绕组有各种型式，辅绕组则单独绕行并首尾相接，形成短路闭合，罩住部分铁心，故称罩极绕组。由于被罩在辅绕组内的铁心，其磁通滞后于未罩部位的主磁通，交变磁场随着时间变化而使磁场中心从未罩部分移向罩极部分，从而形成的脉动旋转磁场切割转子导体，产生转矩而起动、运行。

罩极电动机一般不能逆转，即装好后只有一个转向，不能用电源极性改接的方法来反转，而且起动转矩小，还可能出现“死点”；另外，电动机起动后，短路线圈仍然感生电流而消耗部分输入电能，故其运行效率及功率因数都很低。但因结构简单、制造成本较低、运行噪声小、故障极少和对无线电没有干扰等优点，故在某些小功率的家用电器中仍被应用。

常用的单相异步电动机的结构特征、性能及应用见表 2-8。

表 2-8 单相异步电动机结构特征、性能及应用

型式	起动型		运转型		特殊型		罩极式
	电容起动	电阻起动分相	电容运转	双值电容	双转向运行	调速运行	
功率范围/W	120~750	18~750	5~600	8~750	20~250	25~150	0.5~120
同步转速/(r/min)	1000、1500、3000	1500、3000	1000、1500、3000	1500、3000	1500	1500	1500、3000
起动装置及附件	电磁式或离心式起动开关	电磁式或离心式起动开关	不需用	起动开关	双投转换开关	切换挡位开关	不需用
结构特征	定子是分布式绕组，主、辅绕组轴线在空间相隔90°电角度。主、辅绕组有效占槽比约为2∶1，且辅绕组导线较粗	定子绕组分布同电容起动电动机，但主绕组匝数一般比辅绕组多，辅绕组匝数少且导线细。个别电动机的辅绕组有部分采用反绕匝数	定子主、辅绕组占槽比相等，并在空间安排互差90°电角度。一般设计辅绕组导线较细而匝数略多于主绕组	主、辅绕组分布与电容运转电动机相同。采用两只电容，其中大容量的是起动用，小容量的作为运行电容	主、辅绕组分布情况同电容运转电动机，但主、辅绕组参数完全相同	定子除主、辅绕组外还有调速绕组，它与主绕组同相布线称为L-1型；与辅绕组同相称L-2型。此外还可构成多种其它接线型式	主绕组布线型式与电容电动机相同；辅绕组是短路罩极线圈，采用粗导线绕制，但匝数只有1至几匝
起动、运行特征	起动电容器的容量大，一般选用电解电容器。起动时辅绕组通过开关与起动电容器串联后接入电源，起动后断开，由主绕组单独工作	起动时辅绕组通过开关接入电源，起动后断开	一般选用容量较小的无极性电容器与辅绕组串联后和主绕组并接于电源。电容器主要考虑运行特性，但亦兼顾起动性能	起动时起动电容器通过开关与辅绕组串联后再与运行电容器并联接入电源，起动后断开起动电容，电动机作为电容运转电动机运行	两种方向运行时，主、辅绕组的功能互相轮换工作	调速绕组串入辅绕组时转速快，串入主绕组时则转速减慢	主绕组接入电源，辅绕组无论在起动或运行均处于短路状态

（续）

型式		起动型		运转型		特殊型		罩极式
		电容起动	电阻起动分相	电容运转	双值电容	双转向运行	调速运行	
工作特性	最大转矩倍数	> 1.8	> 1.8	> 1.6	1.7 ~ 1.8	≈1.7	> 1.5	
	起动转矩倍数	2.5 ~ 3	1.1 ~ 1.7	0.35 ~ 1	1.6 ~ 1.8		0.3 ~ 0.9（高速档）	< 0.5
	起动电流倍数	4.8 ~ 6.4	6 ~ 9	5 ~ 7	5 ~ 7.5			
	控制性能	可改接反转，但调速性能差	可改接反转，但调速性能差	可改接反转，并通过串联电抗调速，但不宜空载运行	可改接反转，也可串联电抗调速，但极少采用；不宜作空载长期运行	专为可逆运行而设计，一般不作调速运行	专为风扇类负载作调速运行而设计，但不能反转运行	不能改接反转，一般只作单向运行，力能指标差
应用举例	应用基本系列	YC、CO、CO2、JY、JDY	YU、BO、BO2、JZ	DO2、DO、YY、JX				
	应用实例	空气压缩机、磨粉机、电冰箱	大型排风扇、微型车床、鼓风机、电冰箱	电风扇、吊扇、洗衣机	电冰箱、空调机	洗衣机	台式电扇、落地式电扇、鸿运扇	小排风扇、电唱机、电吹风机

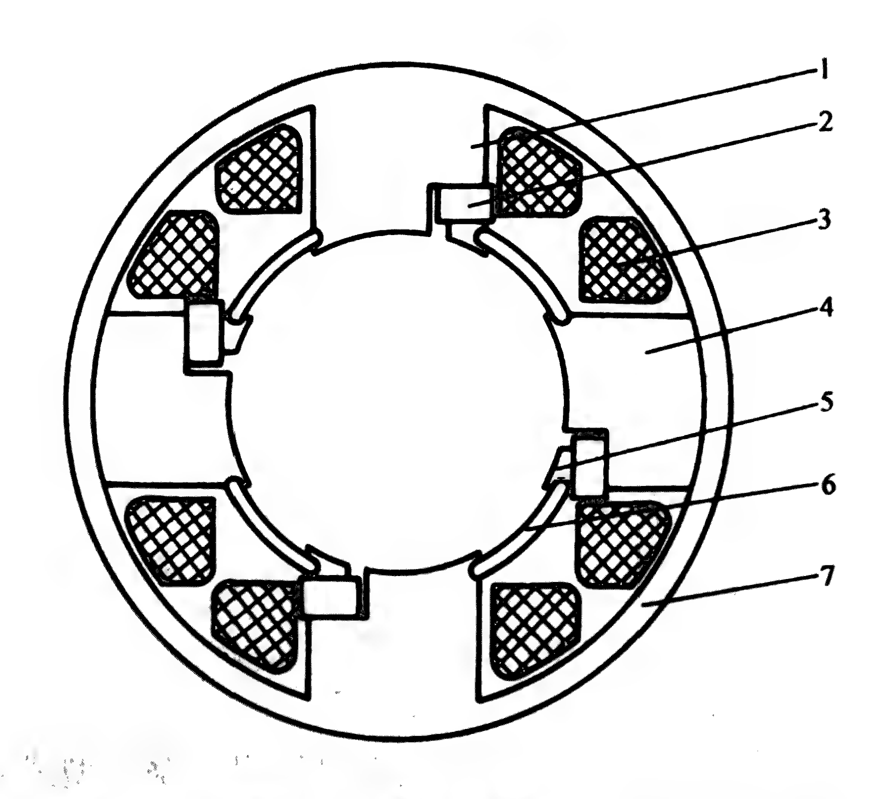


图 2-69　凸极式集中绕组罩极电动机定子结构图
1—冲片凸极　2—罩极线圈　3—主绕组　4—可卸凸极
5—被罩凸极部分　6—磁分路片　7—定子铁轭

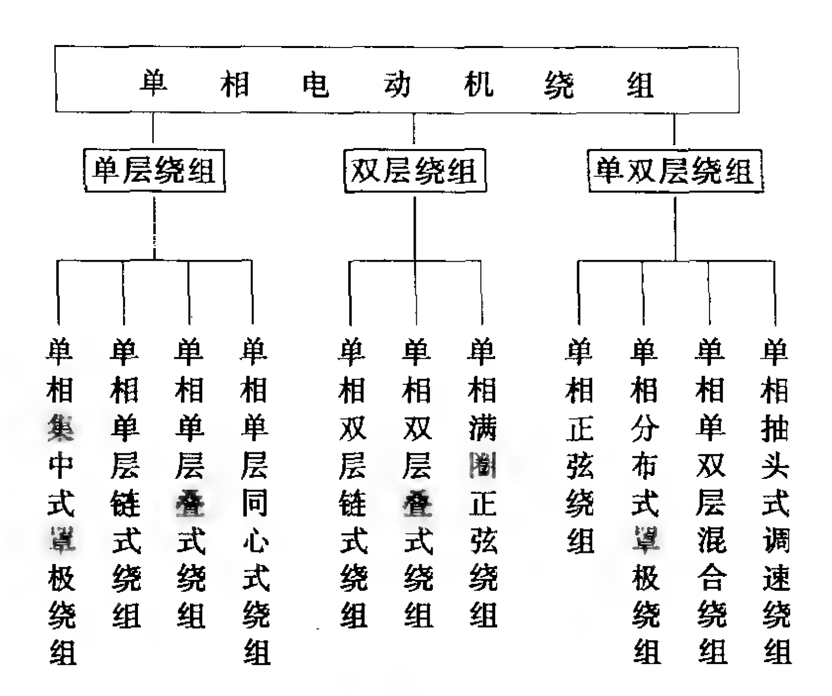
二、单相绕组结构分类与技术参数

单相电动机绕组有集中式和分布式。集中式绕组仅用于微小功率的电机，常见如罩极电动机，它的每极相只有一只线圈，绕制并包裹绝缘后套在定子凸形铁心上。分布式绕组和三相电机绕组近似，也是采用多槽式定子，由主、辅绕组构成，并按一定规律嵌装在定子铁心槽内，即每组线圈分布在相邻几个槽内，故称分布式。但是，分布式绕组也有每组一圈的特例。

为了获得起动转矩，单相电动机的主、辅绕组在电路设计上要求 90°的相位差，故在定子的安排时也尽量满足空间互差 90°电角的要求。为此，通常都将主、辅绕组设计成不同参数，从而形成多种多样的绕组型式。

1. 单相绕组的分类

虽然，单相电动机按工作状态可分起动型和运行型，但对绕组应用则无明显界限，因此本书按绕组结构层次，可将单相电动机绕组型式分为如下三类：



2. 单相绕组的术语和基本参数

单相绕组和三相绕组均属交流电机绕组，绕组型式基本属同类型，故其绕组的大部分参数有相同的含义。但由于单相绕组不是对称的三相，它是由不对称的两相绕组构成，因此，在占槽分配和线圈匝数、线径等都有别于三相绕组。下面仅就单相特有的名词术语进行解释：

(1) 单相绕组　单相电动机由单相交流电源供电，其绕组由不同相位的主绕组和辅绕组组成，对运行型电动机而言，无论是起动或运行，主、辅绕组都参与通电工作，是地地道道的两相电动机；对起动型电动机来说，虽然运行时辅绕组脱离电源，但就结构而言，它毕竟存在主、辅两套绕组、依此也属两相绕组。

单相电动机主绕组又称运转绕组，它是产生工作磁场，起主要作用，故称主绕组。辅绕组在定子上的安排要与主绕组错开90°电角，电路设计则要产生一定的相位差，因此，通常设计成容性电路或阻性电路。本书主绕组用“U”表示，出线标记为U_1-U_2；辅绕组用“V”表示，出线标记为V_1-V_2。

单相电动机主绕组和辅绕组采用的绕组型式是多样的，它可以选用相同的绕组方案，也可选用不同的绕组方案。

(2) 调速绕组　调速绕组是根据特殊性质负载(如风扇类)而设计的特种绕组，它是除主、辅绕组之外的第三绕组。由于它在

调速运行中变换于主、辅绕组之间，故有称中间绕组。调速绕组用“T”表示，出线标记为 T_1-T_2。

(3) 每极槽数　是指单相绕组采用一般绕组型式时，每一极所占的槽数，其值主导每极线圈数。所谓“一般型式”是指正弦绕组以外的绕组型式。通常，每极槽数要根据单相电动机性能决定。

1) 单相运行型电动机　主、辅绕组占槽相等，每极槽数（槽）

$$q_U = q_V = \frac{Z}{2p \times 2}$$

2) 单相起动型电动机　主、辅绕组占槽不相等，为了消除三次谐波，主、辅绕组按 2:1 比例分配槽数，即

主绕组每极槽数(槽)　$q_U = \dfrac{2Z}{3 \times 2p}$

辅绕组每极槽数(槽)　$q_V = \dfrac{Z}{3 \times 2p}$

(4) 每极线圈数　每极线圈是指构成主(辅)绕组每一极的线圈数，通常也称每组圈数。对一般绕组而言

1) 单层绕组每极线圈数

主绕组　$S_{pU} = q_U/2$

辅绕组　$S_{pV} = q_V/2$

2) 双层绕组每极线圈数

主绕组　$S_{pU} = q_U$

辅绕组　$S_{pV} = q_V$

若采用特殊型式布线则不在此例。

(5) 每极匝数　每极匝数是指形成一极磁场所需的匝数，它等于每极线圈匝数之和。单相电动机每极匝数由下式确定：

1) 主绕组每极匝数(匝/极)

$$W_{pU} = \frac{21.4 K_E U_N}{DLB_g K_{\omega U}}$$

式中　K_E——压降系数，一般 $K_E = 0.7 \sim 0.94$，电机大者取较大值；

U_N——电动机额定电压，V；

D——定子铁心内径，cm；

L——定子铁心长度，cm；

B_g——气隙磁密，二极电机取 $B_g=0.35\sim0.52\text{T}$，四极取 $B_g=0.35\sim0.65\text{T}$；

$K_{\omega U}$——电动机主绕组系数。

2）辅绕组每极匝数(匝/极)

$$W_{pV}=K_B W_{pU}\frac{K_{\omega U}}{K_{\omega V}}$$

式中　K_B——变比系数，电容起动 $K_B=0.7\sim1.25$；高内阻分相起动 $K_B=0.47\sim0.7$；电容运转 $K_B=0.96\sim1.7$；电容电扇 $K_B=1.1\sim1.42$。

以上算式是估算公式，仅供参考。对于重绕修理，除非特殊情况，一般无需计算，只要在拆线时，取出一组线圈，分别点清各线圈的匝数，则每极匝数为其相加之和。

(6) 等匝分布与正弦分布　单相电动机线圈匝数分布有两种形式，一是保持每槽导线数不变的分布，是一般绕组所采用，如单层绕组及大多数双层绕组都属这种形式；另一种每槽导线数不等的分布，它主要是指目前应用最普遍的单相正弦绕组(详见后述)。

(7) 线圈匝数比　每个线圈匝数占主(辅)绕组每极匝数的比例称为线圈匝数比。如等匝线圈比值：

$$K_n=\frac{W_p}{\omega}\times100\%$$

式中　W_p——主(辅)绕组每极匝数；

ω——主(辅)绕组每线圈匝数。

由式可见，对等匝线圈而言，K_n 值是不变的；但如选用正弦绕组，则由于线圈匝数随正弦规律变化，所以它就有多个不同的 K_n 值。

其余名词及绕组术语解释可参看三相绕组。

三、单相单层绕组

单层绕组属单相绕组的一般型式，通常都有起动型和运行型的应用，而且可构成显极或庶极的布线型式。

（一）单相单层链式绕组

1. 绕组的构成

单相单层链式绕组简称单相单链绕组。它的构成特征是每极组只有一只线圈，且相邻两线圈出槽后反折，从而形成如链相扣状故称。

单链绕组从原理上可构成运行型和起动型绕组，但实际应用只有运行型，即主、辅绕组占槽相等的型式。例如，图 2-70 就是 16 槽四极，采用显极布线的单相电容运转电动机绕组展开图及此绕组的布接线图。

单链绕组还可设计成庶极布线的运行型绕组，其应用实例主要有吊扇电动机。此外，起动型的单链绕组在目前未见在产品上的应用实例，故不予介绍。

2. 单相单链绕组的接线

主、辅绕组是分别连接，形成两相结构，故也称主相、辅相。每相绕组的线圈组之间的连接规律为：

显极布线　同相相邻组间是反接串联，使组间极性相反，即连接时是“尾接尾”或“头接头”；

庶极布线　同相相邻组间是顺接串联，使同相极性相同，即连接时是“尾与头”串接。

3. 绕组的结构特征

（1）单链绕组主、辅绕组每极占槽相等且等于 2，即 $q_U = q_V = 2$ 槽；

（2）主、辅绕组每极线圈数也相等，并且等于 1，即 $S_{pU} = S_{pV} = 1$；

（3）主、辅绕组每相线圈（组）数相等，即

显极布线　$S_U = S_V = 2p$

庶极布线　$S_U = S_V = p$

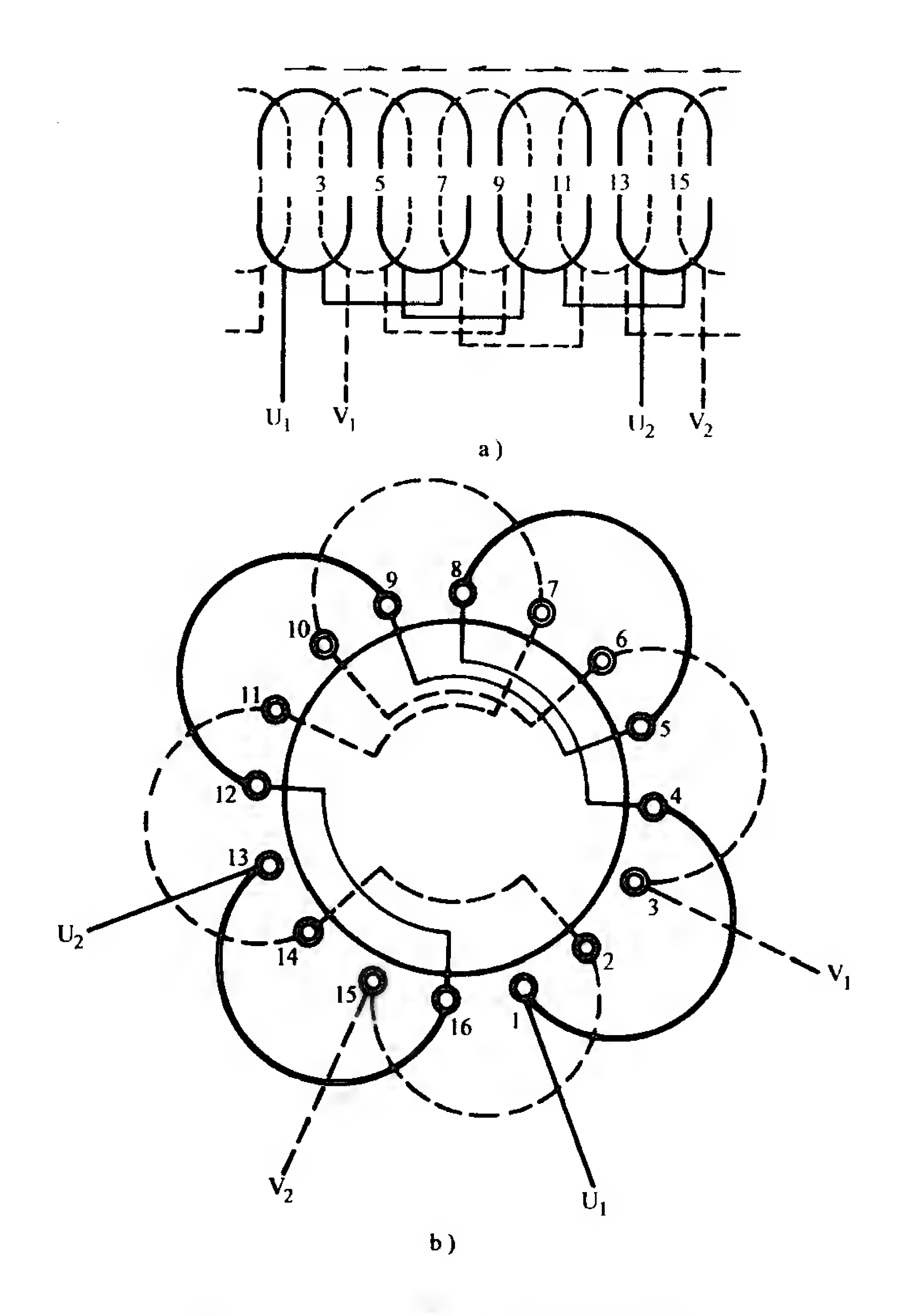


图 2-70 单相 16 槽四极运行型单链绕组

a）绕组展开图 b）绕组布线接线图

（4）单链绕组是短节距线圈的全距绕组，线圈节距由布线形式决定，即

显极布线 $y = 3$

庶极布线 $y = 2$

（5）单链绕组每组线圈数和线圈节距是固定的，即全矩绕组的节距系数 $K_y=1$，故其绕组系数也是不变的，即

显极布线　$K_{\omega U}=K_{\omega V}=0.924$

庶极布线　$K_{\omega U}=K_{\omega V}=1$

4. 绕组工艺、性能特点与应用

（1）全部线圈为等节距的单层绕组，而且每组仅一线圈，故便于采用连绕连嵌工艺，省去接线工序；

（2）单链绕组是缩短节距的全距绕组，每匝长度较短、可节省用铜量和降低铜耗；

（3）绕组可采用整嵌法形成双平面绕组，嵌线简便省时；

（4）全距绕组的谐波分量较大，电气性能远不及正弦绕组，但在单层绕组中尚属可以；

（5）单链绕组多应用于运行型单相电动机，而庶极布线时，多见于电容式吊扇。

（二）单相单层叠式绕组

1. 绕组的构成

单层叠式绕组又称单叠绕组。它由交叠式线圈组构成。它是将单链绕组的单圈组改为多圈组，且两组线圈边出槽后反折。图 2-71 就是运行型显极布线单叠绕组。

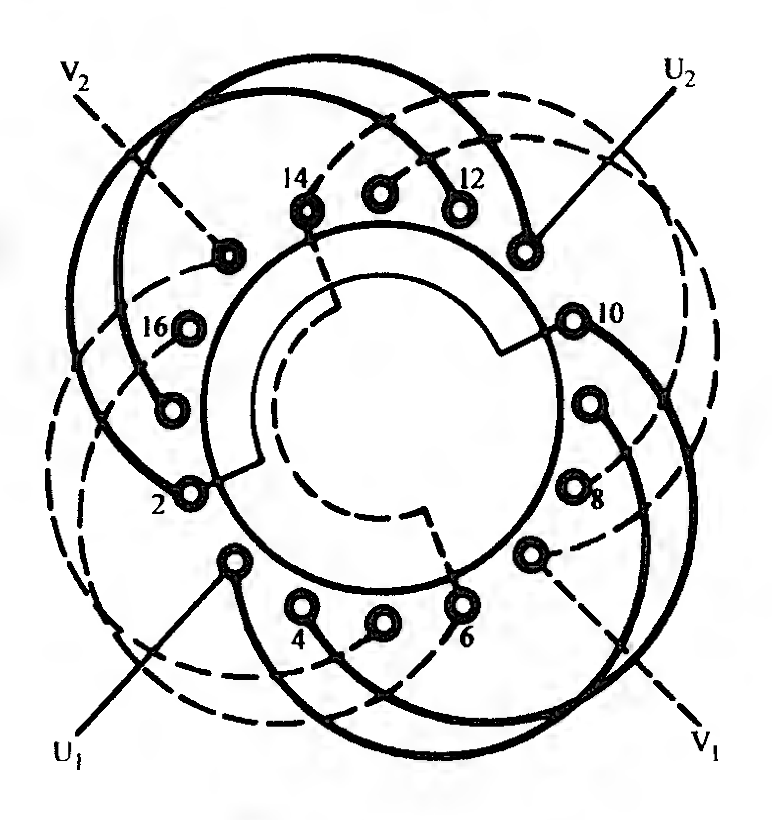


图 2-71　16 槽二极单相单层叠式绕组示例

单叠绕组也可构成起动型绕组，但因主、辅相占槽比为 2:1，故要选槽数较少的定子，使辅相线圈减去一半。此外，还可采

用庶极布线。因其应用极少，不作介绍。

2. 单相单叠绕组的接线

主、辅绕组分别连接成两相绕组，但不同布线则接法也不同。

显极布线　同相相邻线圈组的极性相反，连接是反接串联，即“尾接尾”、“头接头”。

庶极布线　同相相邻线圈组为同极性，连接是顺接串联，即“尾与头”相接。

3. 绕组的结构特征

1）主绕组由等距交叠线圈组构成，且相邻两组线圈端部方向反折；

2）同相每组线圈数相等，且主绕组每极线圈数必须是 $S_{pu} \geqslant 2$ 的偶数；

3）单相单叠绕组运行型每极槽数主、辅相等，即 $q_U = q_V$；

4）运行型每极槽数主、辅相等，$q_U = q_V$；起动型每极槽数主倍于辅，$q_U = 2q_V$；

5）显极布线时，主、辅相组数相等，即 $U_U = U_V = 2p$；

6）单相单叠绕组运行型显极布线时，主、辅线圈为等节距，即 $y_U = y_V = 3q_U/2$。

4. 绕组工艺、性能特点与应用

1）单叠绕组显极布线时，可选用整嵌布线而形成双平面绕组，嵌线工艺较为省时；

2）绕组是单层布线，槽满率较高，但电磁性能较差；

3）单相单叠绕组主要取材于原《苏》早期电机产品，收集仅数例，庶极布线仅限于辅相绕组，而主相仍用显极。主、辅绕组均用庶极所构成的是可分割形式，但仅见示例。由于单叠绕组应用极少，这里仅作为绕组型式的认知性介绍。

（三）单相单层同心式绕组

1. 绕组的构成

单相单层同心式绕组是由单层同心线圈组构成，故简称单同

心绕组。它由单叠绕组演变而来，例如，将图 2-71 的交叠线圈组改为同心型式便得图 2-72 所示的运行型同心式绕组布接线示例。

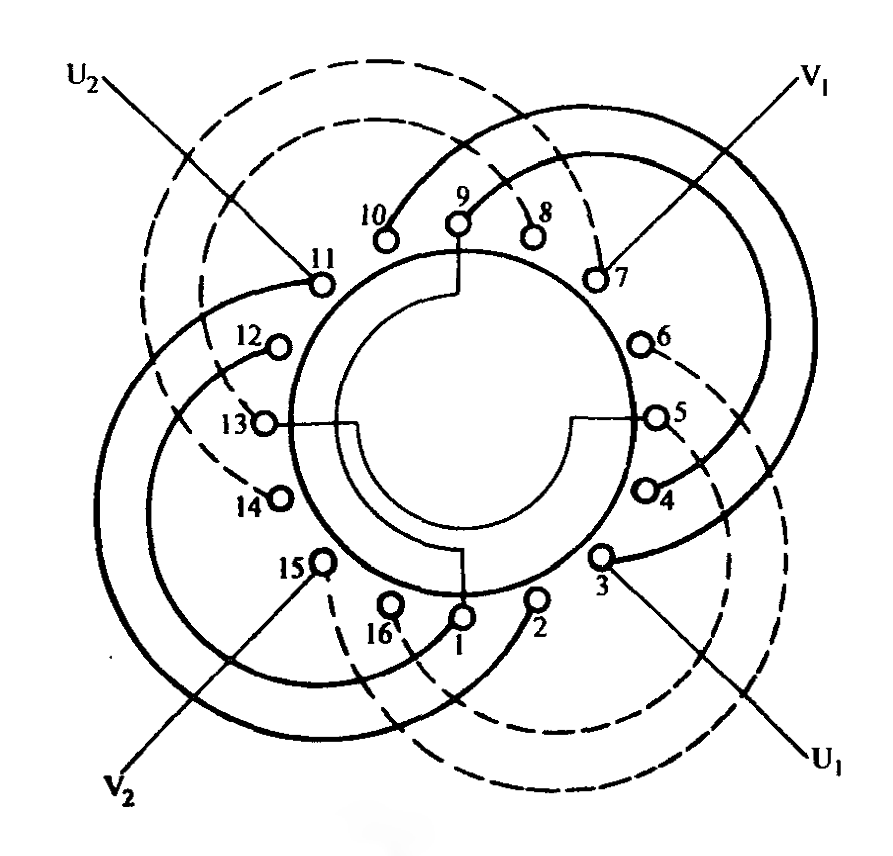


图 2-72　单相单层 16 槽二极(运行型)电动机同心式绕组布接线图

构成上例绕组的每极相槽数 q 是偶数，若 q = 奇数时也可构成单同心绕组，但因每组线圈为分数，所构成的同心绕组是大小联交替安排，如图 2-73 所示。

此外，单同心也可构成起动型绕组，这时因主、辅占槽比为 2:1，当主绕组由双圈组成时，辅绕组每组为单圈，单同心便近似交叉结构。起动型单同心绕组展开示例如图 2-74 所示。

上述单层同心绕组均属显极布线，原理上也可构成庶极绕组，但实际应用查无实例，故不介绍。

2. 单同心绕组的接线

单同心绕组一般都是显极式，故其接线是“尾接尾”或“头接头”，使同相相邻线圈组的极性相反。

3. 绕组的结构特征

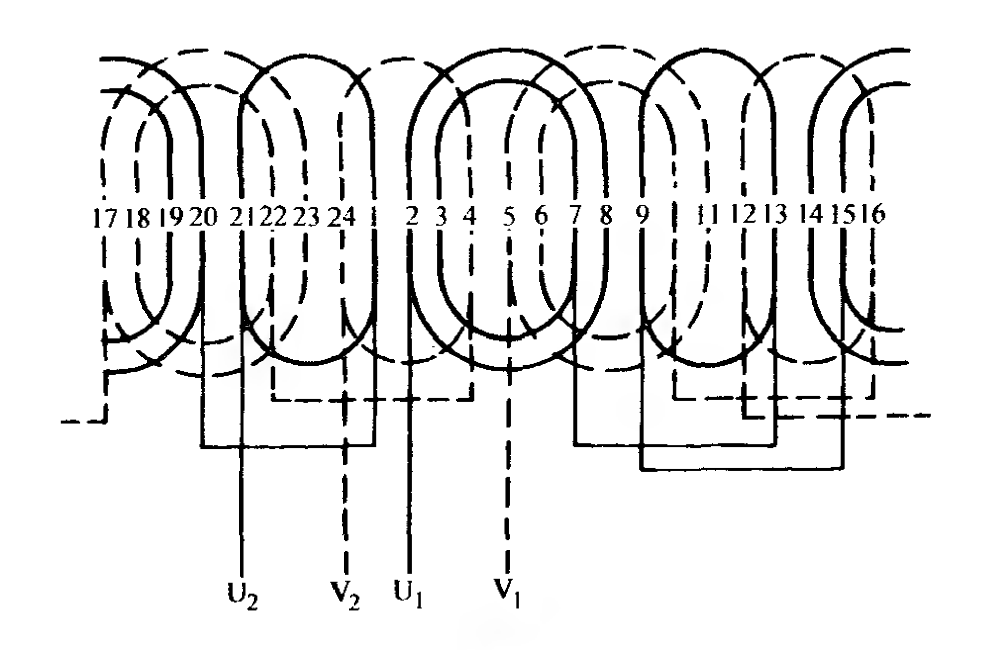


图 2-73 单相 24 槽四极运行型电动机
单层同心(交叉)式绕组展开图

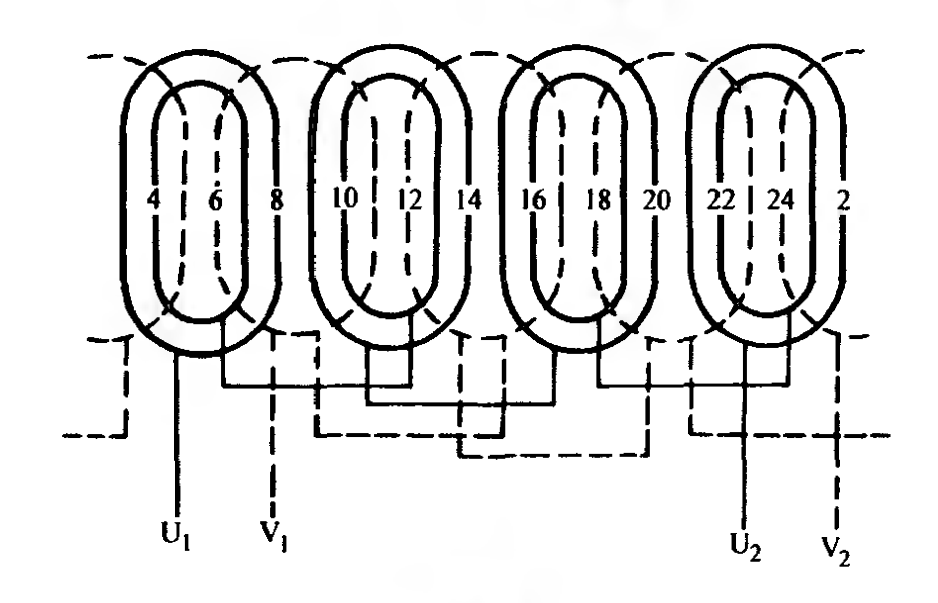


图 2-74 单相 24 槽四极起动型电动机
单层同心式绕组展开图

1）单同心绕组主要特征是由同心线圈组构成，实用仅有显极布线，故相邻两组线圈端部向两边反折；

2）单同心绕组每极相槽数 q 一般是偶数，也可为奇数，当 q = 偶数时每组为等线圈；若 q = 奇数时，每组为分数线圈的大小联结构；

3）每极线圈数由下式决定

运行型　$S_{PU} = S_{PV} = Z/8p$

起动型　$S_{PU} = Z/6p$

$S_{PV} = Z/12p$

4）运行型显极绕组每相线圈组数

$$U_U = U_V = 2p$$

5）单同心绕组的线圈节距可由计算确定

运行型　最小节距　$y_1 = q + 1$

第二节距　$y_2 = y_1 + 2$

第三节距　$y_3 = y_2 + 2$　余类推。

起动型

主绕组　最小节距　$y_{U1} = q_V + 1$

第二节距　$y_{U2} = y_{U1} + 2$

第三节距　$y_{U3} = y_{U2} + 2$

辅绕组　最小节距　$y_{V1} = q_U + 1$

第二节距　$y_{V2} = y_{V1} + 2$　余类推。

4. 绕组工艺、性能特点与应用

1）单层同心式绕组可构成显极式和庶极式，但实际应用只有显极式；

2）单同心绕组线圈实际平均节距均短于极距，故较节省铜线；

3）显极式可采用“双平面”布线，分层嵌入线圈，工艺简便，也利于绕组端部绝缘处理；

4）运行型主、辅绕组系数相同；但起动型则主绕组系数低于辅绕组；

5）由于线圈不等节距，线圈组要用不同规格的塔形线模绕制，使制作耗费工时；

6）单层绕组槽满率较高，但电气性能较差；

7）本属一般型式单相绕组，实际应用不多，应用实例有家用洗衣机电动机。

四、单相双层绕组

单相双层绕组是指每槽均嵌入两有效边的单相绕组。为了改

善电机工作性能，更有效地削减主、辅绕组中的三次及高次谐波，单相电机也可采用双层布线，以构成短距绕组。单相双层有三种型式的绕组，其中满圈正弦属单相正弦绕组的特例，拟归并到单相正弦绕组中再详细解述。

（一）单相双层链式绕组

1. 绕组的构成

单相双层链式绕组简称为双链绕组，是单相双层叠绕组的特殊型式。它的每组仅有一只线圈，是正弦绕组不可替代的绕组型式。它只能构成运行型绕组及显极布线。图 2-75 是双链绕组示例。

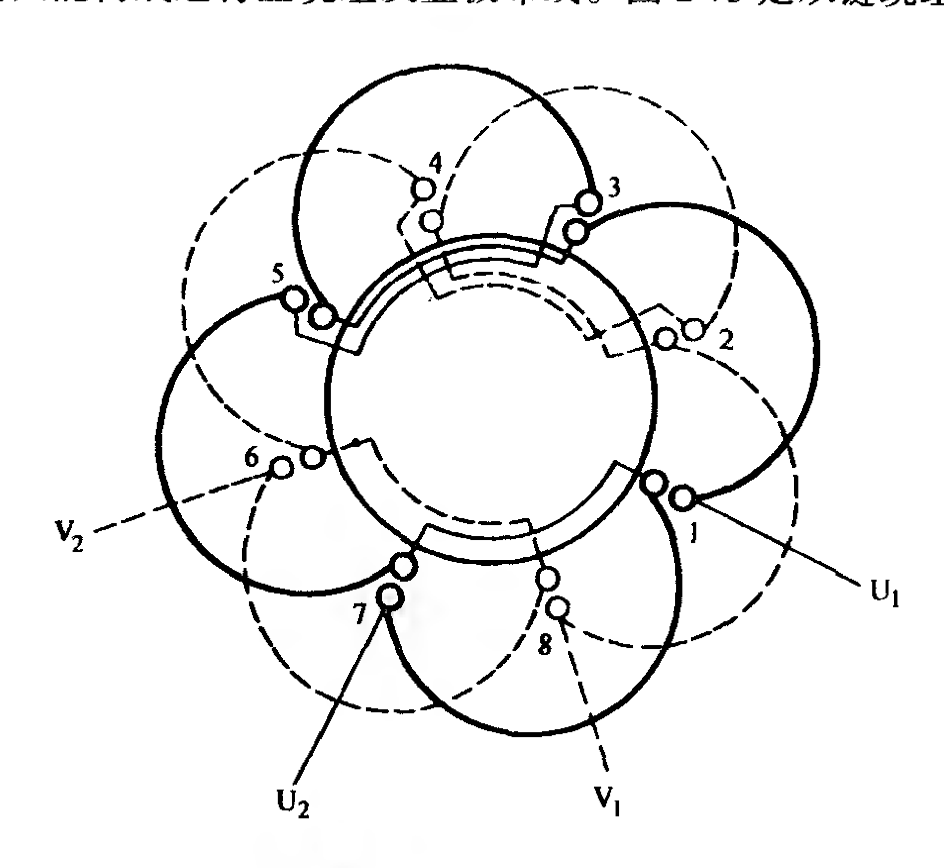


图 2-75　单相 8 槽四极双层链式(运行型)绕组示例

2. 单相双链绕组的接线

双链绕组是显极布线，同相相邻两(组)线圈的极性相反，故应反接串联，即“尾与尾”或“头与头”相接。

3. 绕组的结构特征

（1）双链绕组每组仅一线圈，其布线形状如链相扣；

（2）双链绕组只能构成运行型显极绕组；

（3）双链绕组只能构成整距绕组，且线圈节距等于极距，但固定为2槽，与极数无关；

（4）因是显极绕组，主、辅相线圈(组)数相等，且等于极数。

4. 绕组工艺、性能特点与应用

（1）采用双层布线、槽满率较低；总线圈数比单层多一倍，故嵌线较费工时；

（2）双链绕组是双层绕组中唯一可采用两种嵌线方法的绕组，采用交叠法时端部形成规则的交叠状，是正规的布线方法；采用整嵌法嵌线不用吊边，是属简易布线方法，嵌线是将主、辅绕组分层嵌入，最终形成双平面结构；

（3）双链绕组主要应用于电抗调速的电容式电扇和吊扇电动机。

（二）单相双层叠式绕组

1. 绕组的构成

若将双链绕组的单圈组改为多圈组，即每极相槽数为大于1的整数时，所构成绕组的线圈端部呈交叠状，故称双叠绕组。双叠绕组可用于运行型和起动型电动机，运行型绕组的主、辅占槽相等；起动型则主、辅占槽比为2:1。图2-76是双层叠式起动型绕组示例。

2. 双叠绕组的接线

单相双叠绕组分相连接，因其只有显极布线，故同相相邻组间极性必须相反，即“尾接尾”、“头接头”。

3. 绕组的结构特征

（1）单相双叠绕组按原理结构可构成显极式和庶极式，但实际应用只有显极绕组；

（2）绕组是由形状、大小相同的等距线圈构成交叠双层绕组，但主、辅线圈参数不同；

（3）单相双叠绕组运行型每组圈数主、辅相等；起动型的主绕组是辅绕组2倍；

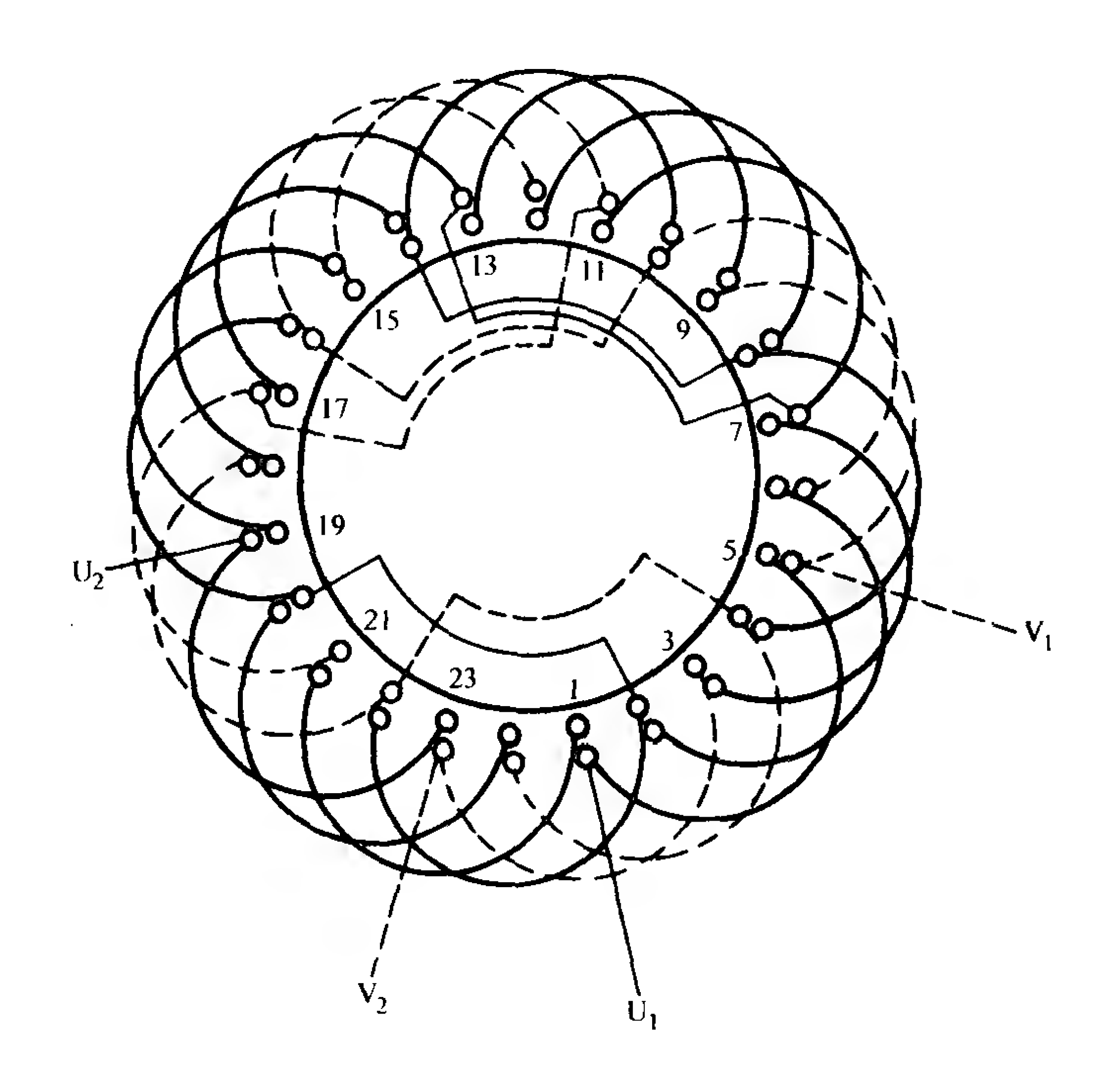


图 2-76 单相双层叠式 24 槽四极，起动型绕组端面布线接线图

（4）因属显极布线，每相组数等于极数。

4. 绕组工艺、性能特点与应用

（1）双叠绕组可灵活选用短节距，通常选用缩短 1/3 极距的线圈以消除三次谐波，使电动机获得较好的性能；

（2）双层绕组槽满率低；而线圈数多，使嵌绕耗费工时；

（3）嵌线只能采用吊边交叠法，加之线圈多，对小电机嵌线特感困难，即工艺性差；

（4）单相双叠绕组应用于早期生产的排风扇及（前苏）早年生产的单相电动机。在国产电机中已为性能优越的正弦绕组所代替。

五、单相单双层绕组

单双层绕组是由单层线圈和双层线圈组成，即定子线圈安排有单层槽和双层槽的，如等匝槽安排的单双层混合绕组、分布式

罩极绕组、抽头式调速绕组以及单相正弦绕组等，均属于此类。

（一）单相单双层混合绕组

1. 绕组的构成

单相单双层混合绕组是由单层和双层线圈构成的同心式绕组，它由双层叠式绕组演变而来。图 2-77a 是单相四极一相全距绕组端面图，每组由 3 只交叠线圈构成，设槽 1、2、3 和 13、14、15 为同极性，则 7、8、9 和 19、20、21 为另一同极性，如果保持各槽电流极性不变，将槽 3、7、9、13、15、19、21、1 的双层有效边改成双倍匝数的单层线圈，便得如图 2-77b 所示的具有单双层线圈的一相绕组。

由图可见，每组线圈由 3 只减至 2 只，但绕组节距与原双叠相同，即绕组系数也没有改变。同理，也可得出辅绕组的单双层绕组布线。此外，从图 2-77b 可见，此单双层线圈组中的最大节距线圈是双层，且节距等于极距，特将其称为 A 类布线单双层绕组。另一种布线则由双叠短距绕组演变，如图 2-78a 是单相双层短距的一相绕组布线，即绕组极距 $\tau=6$，线圈节距 $y=5$，即缩短 1 槽。此外，在每极 4 槽中，两边的槽嵌入不同相线圈边，只能保留双层结构，但改变其端部和节距，使其成为小线圈；而中间两槽的上下层边是同相的，故将其改为两单层边，则成为如图 2-78b 所示的单双层绕组。对照上图 A 类可见，此图的大节距线圈是单层，且线圈节距小于极距，属 B 类布线。

此外，单相单双层绕组还有主、辅在定子上定排相位不等于 90°电角的特殊布线，即所谓“非正交分布”绕组，其应用极少，不作介绍。

2. 单相单双层混合绕组的接线

单相单双层绕组是显极式布线，故同相相邻线圈组反极性，即用反接串联接线。

3. 绕组的结构特征

（1）单双层混合绕组是由单层和双层的同心线圈组构成，但

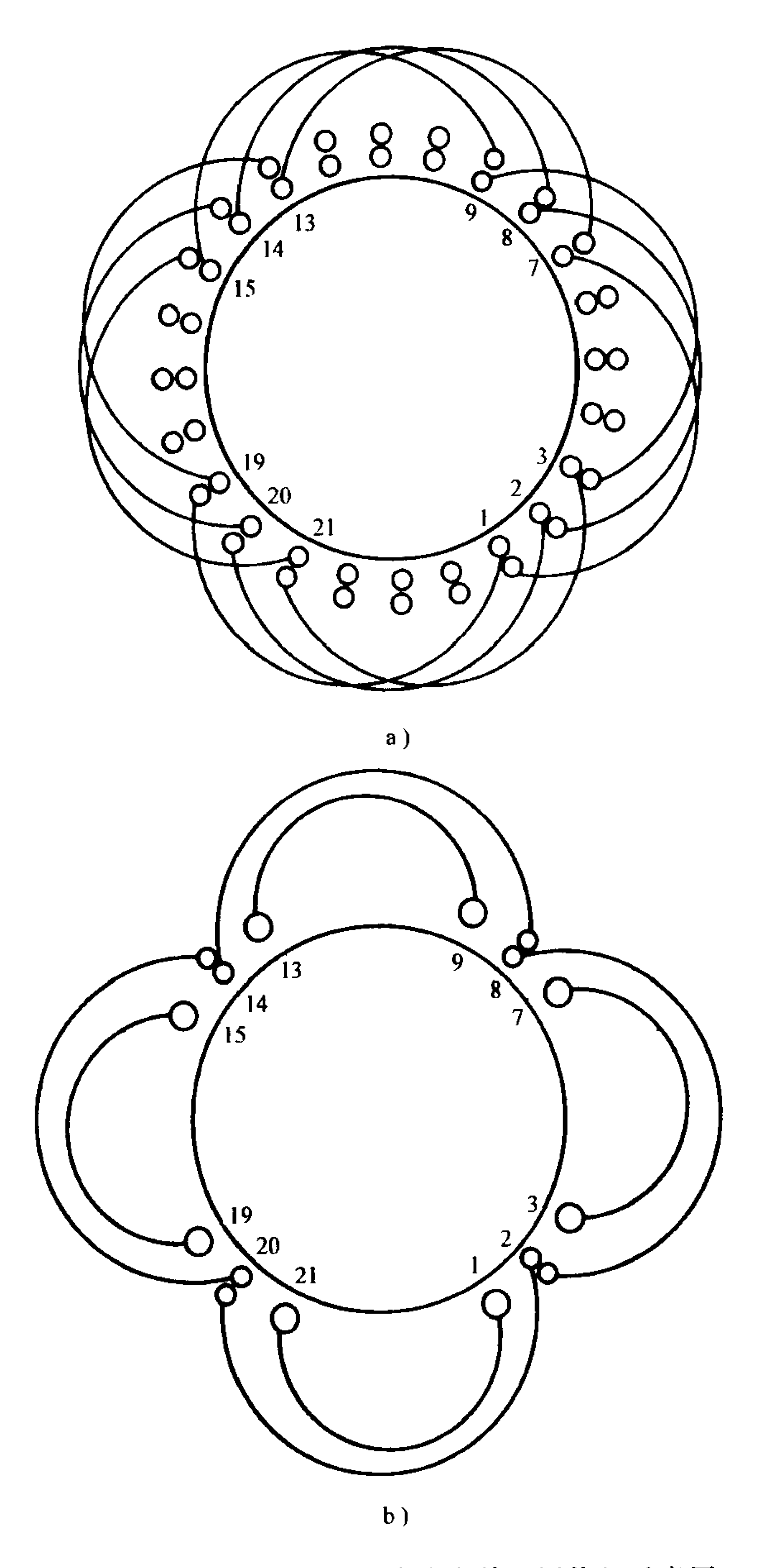


图 2-77 单相24槽四极叠式演变单双层绕组示意图

a) 单相双层全距绕组端面布线 b) 单相单双层(A类)绕组端面布线

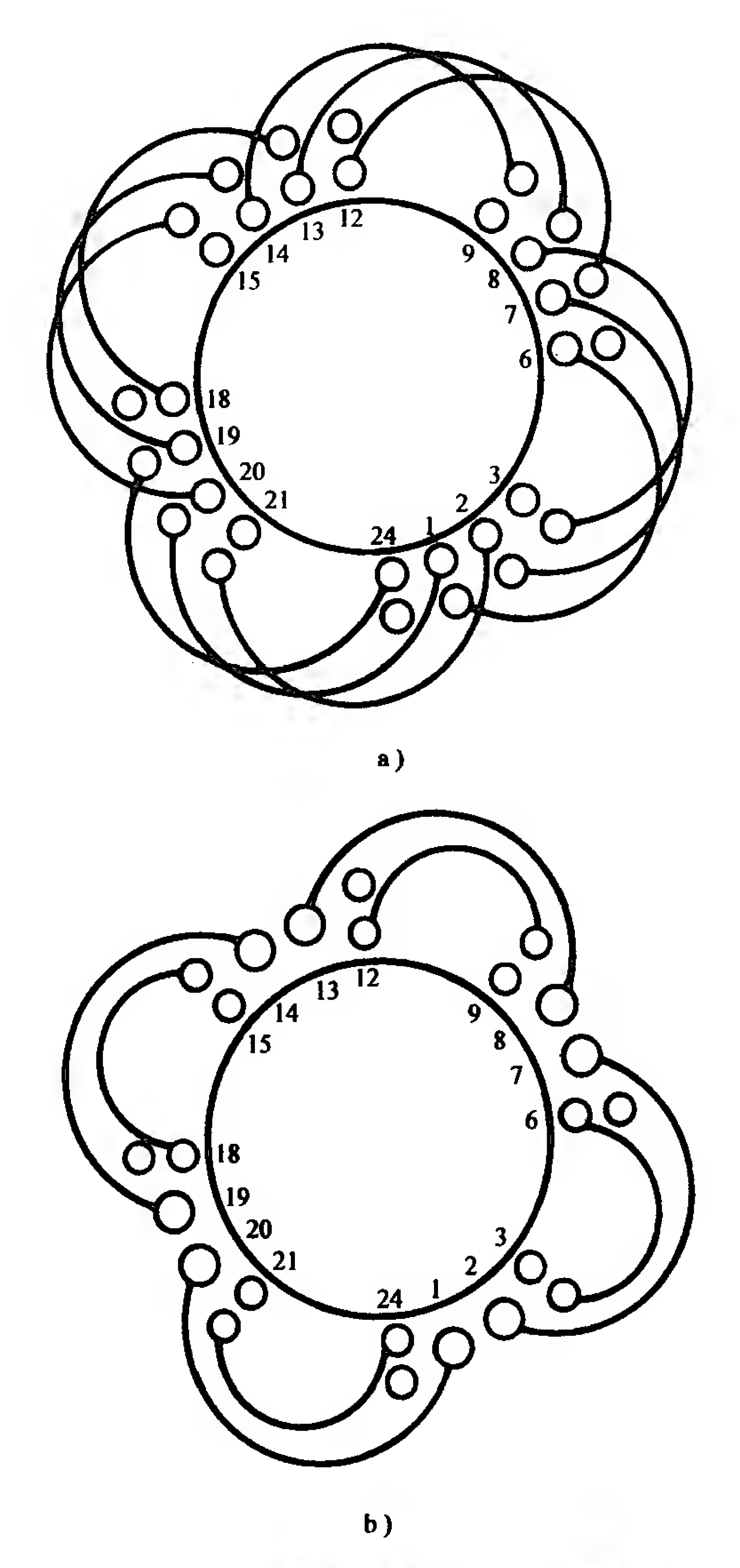


图 2-78　单相 24 槽四极叠式短距绕组演变单双层绕组示意图

a）单相双层短距绕组布线　b）单相单双层（B 类）绕组布线

双层线圈有效边分置于不同槽的上下层次；

（2）单双层绕组有两种布线，若线圈组外侧是双层大线圈者属“A”类；外侧是单层大线圈则为“B”类；

（3）单双层绕组是每槽等匝绕组，即每槽导线数相等，故双层线圈匝数是单层线圈的一半；

（4）一般单双层绕组为显极运行型，主、辅绕组每极槽数相等；

（5）单双层主、辅线圈组数相等，即

$$U_U = U_V = 2p$$

（6）主、辅绕组每极线圈数相等，且为分数，即

$$S_{pU} = S_{pV} = Z/8p = \text{分数}$$

其中整数代表整槽的单层线圈数目；分数为 1/2，代表一只占半槽的双层线圈。

（7）单双层绕组的线圈节距

A 类布线　大节距　$y_1 = \tau$

　　　　　中节距　$y_2 = y_1 - 2$

　　　　　小节距　$y_3 = y_2 - 2$

B 类布线　大节距　$y_1 = \tau - 1$

　　　　　中节距　$y_2 = y_1 - 2$

　　　　　小节距　$y_3 = y_2 - 2$

4. 绕组工艺、性能特点及应用

（1）总线圈数比双层绕组少，且用同心线圈布线，嵌绕较方便；

（2）单双层绕组平均节距比相应双叠绕组缩短，故较省铜线；

（3）具有单层绕组槽满率较高和双层绕组可缩短节距的特点，有利于改善磁势波形，以提高起动性能；

（4）从结构原理上可构成起动型和运行型绕组方案，但实用上仅应用于运行型电动机；

（5）单双层绕组属一般型式，实际应用不多，常见于部分洗

衣机用电机。

(二) 单相分布式罩极绕组

1. 绕组的构成

罩极绕组是指罩极式电动机的辅绕组，它分凸极式短路环罩极和分布式罩极两种。凸极式罩极如图 2-69 所示，前面内容已简要介绍。分布式罩极的作用与之相同，但形式上有所差别，它主要应用于功率稍大的罩极电动机，其定子铁心为多槽式，主绕组常用等匝分布的同心式显极布线，但目前多已改用不等匝的正弦绕组。罩极绕组是辅绕组，它用较粗的绝缘导线嵌于主绕组部分槽面层。罩极绕组多为显极，但也有少量用庶极布线的，罩极的每圈匝数很少，一般仅 1 至数匝，直接用手绕嵌入槽，每极的线圈数有单圈和多圈，图 2-79 是单圈罩极的分布绕组示例；双圈罩极绕组可参看范例图 2-103。

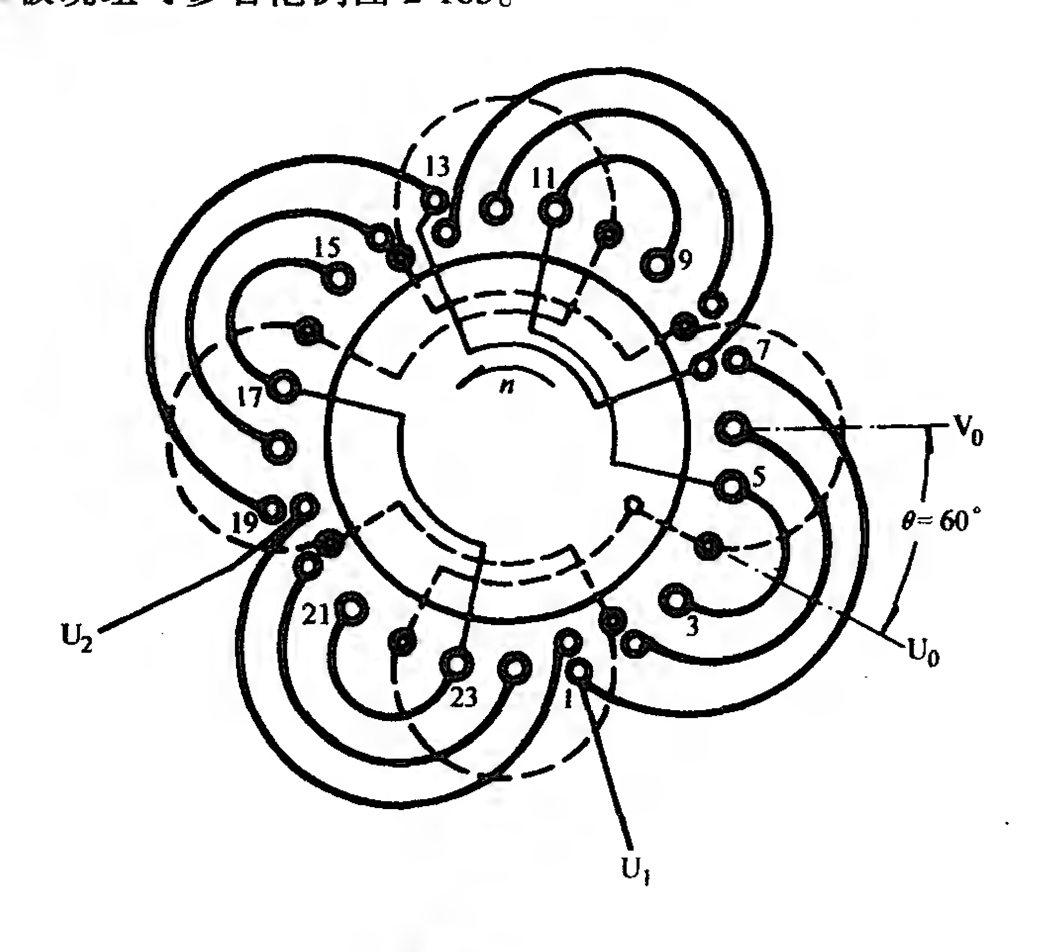


图 2-79　单相罩极电动机分布式绕组示例

($Z=24, 2p=4, \alpha=30^\circ, \theta=60^\circ$)

罩极绕组在定子的相对位置是电动机性能的决定因素，因此，罩极绕组安排应考虑以下因素：

1）罩极绕组的安排是唯一决定电机转向的条件，它的转子是从磁极的未罩部分转向罩极部分。即在同一极之下，电动机的转向是从主绕组磁极中心线(U_o)向罩极中心线(V_o)转动；

2）罩极偏角 θ 是罩极中心线(V_o)与主绕组磁极中心线(U_o)的夹角。为了兼顾起动与运行性能，通常设计 $\theta = 45°$电角，若 θ 偏大，起动性能较好；若 θ 偏小则运行性能较优；

3）安排罩极绕组尽量避免与最大节距的主绕组线圈同槽，防止造成该槽的槽满率过高。

2. 罩极绕组的接线

罩极电动机主绕组为显极式，其布线接线可参照相应型式的绕组进行。分布式罩极绕组因匝数很少，通常用手嵌绕，当认定罩极槽之后，可任选一极下起绕，嵌入规定匝数后再同方向绕嵌同极另一线圈，当一极绕完不要剪断，再反方向绕嵌相邻极线圈，如此一正一反逐组绕嵌，直至完成。最后将首尾线端连接焊牢。

如果罩极绕组采用庶极布线，则各组安排要对称，并使全部罩极线圈绕向相同。庶极嵌绕有两种形式：一是分组嵌绕，即如上所述，绕完一组再绕另一组，全部罩极线圈绕完后，将罩极线圈首尾端短接焊牢；另一是交替嵌绕，即绕完一极 1 号线圈后，跟着转到另一极 1 号线圈，全部极下 1 号圈绕完再逐极嵌绕 2 号线圈，直至完成，最后把首尾短接焊牢。具体绕嵌布线可参考范例图 2-102。

3. 绕组的结构特征

(1）分布式罩极绕组是用粗导线嵌绕在部分主绕组槽的上层；

(2）分布式罩极绕组不与电源交连，而首尾短接，自行闭路；

(3）分布式罩极绕组与主绕组的相位差小于其他单相电动机，通常选用的罩极偏角 $\theta = 30° \sim 60°$电角度；

(4）主绕组采用单层同心式或正弦绕组。

4. 绕组工艺、性能特点与应用

(1) 分布式罩极绕组采用手绕，其嵌绕工效很难提高；

(2) 罩极绕组如设计合理，耐受负载冲击和过载能力都极强，若使用合理则经久耐用；

(3) 由于结构形式所限，电动机的起动转矩小，不能带重负载起动；

(4) 罩极绕组运行时仍消耗电能，使电机能耗增加，故运行效率很低；

(5) 由于效率低、起动性能差，一般只制成小功率的电动机，目前主要应用于家用水泵、食堂炉灶吹风机作动力。

(三) 单相正弦绕组

1. 绕组的构成

正弦绕组是由两套相对独立的主、辅绕组按层次并错开交叠成单双层形式，从线圈形状和绕组排列来看，与单层同心式相似，但由于它的各槽导线数不相等，而且各线圈匝数是按正弦规律分布，使电动机气隙磁势的分布接近于正弦波形，故称正弦绕组。

正弦绕组是技术性能优异的绕组型式。通常将主绕组安排在槽的下层，辅绕组则安排在上层，因此，就其本身结构而言，综合了普通类型的单层和双层绕组的基本特征。图 2-80 就是以相对单位表示的单相正弦绕组布线和主、辅绕组在各槽中匝数分布情况的示意图。

图 2-80a 是单相正弦绕组的主、辅绕组按同心式排列和布线，为了简化图形以便分析，图中仅画出主、辅绕组的端部布线，其中小圆代表在槽中的线圈有效边，下层(实线)是主绕组在各槽的安排，上层(虚线)是辅绕组的安排。从图中可见，主、辅绕组的安排与其他单相绕组一样，即错开 90°电角布线的。图 b 是各槽线圈匝数的分布情况，例如，#1 槽主绕组所占匝数的相对单位较低，而辅绕组则占较高的相对单位；#2 槽主绕组匝数增加，而辅绕组则减少；#3 槽主绕组匝数增至最多，辅绕组最少。其余槽类推如图所示。将各槽相对单位的点连结后便得主、

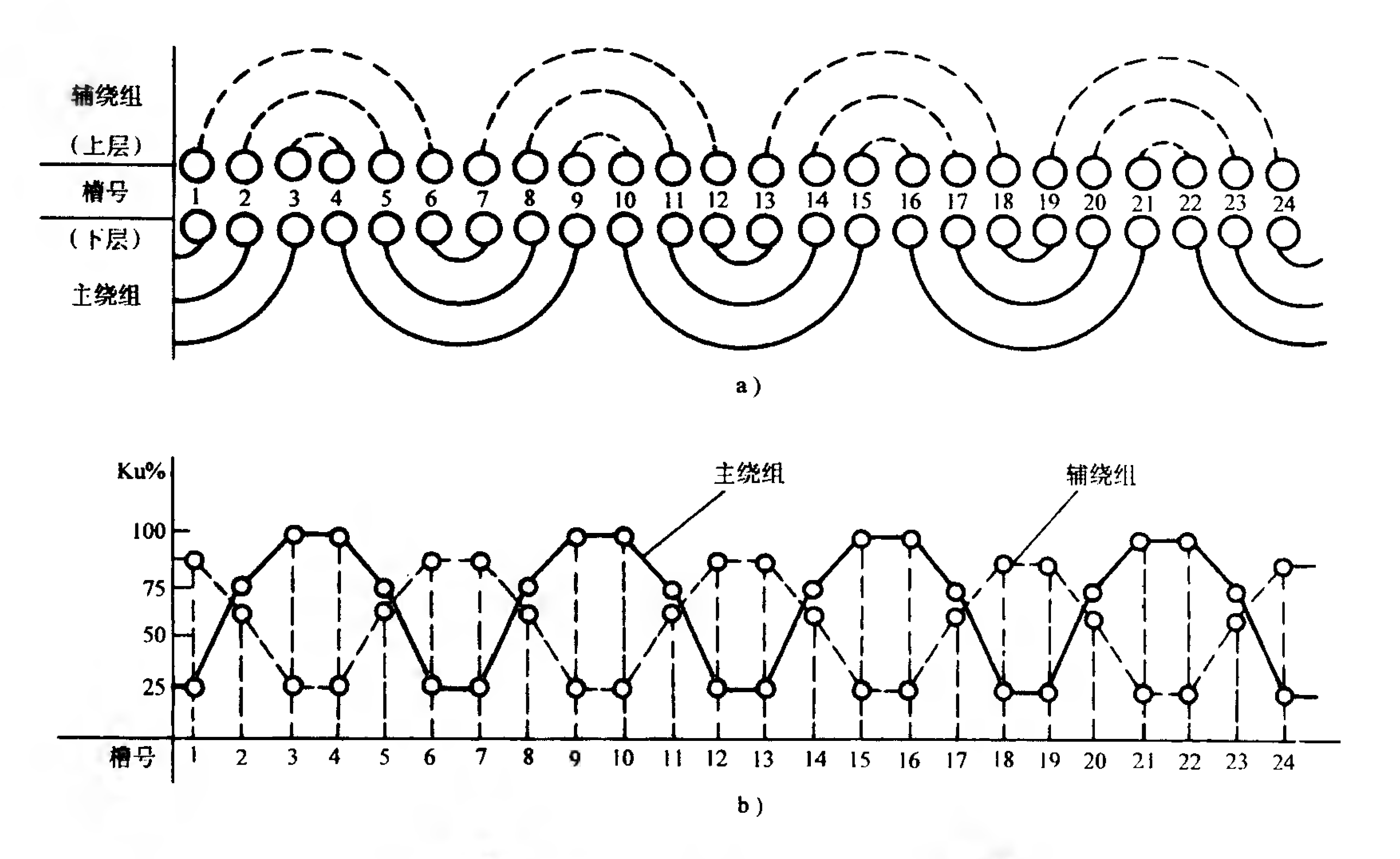


图 2-80 单相 24 槽四极电动机正弦绕组匝数分布及主、辅绕组排列

a）绕组排列 b）各槽匝数分布百分比

辅绕组匝数分布曲线近似于正弦规律。

(1) 正弦绕组安排分布的类型　正弦绕组可用于起动型和运行型单相电动机，其形式属单双层布线，故线圈也有两类安排。

1）A 类安排　正弦线圈组的最大同心线圈的节距等于极距，而该槽置入同相相邻两组的最大线圈有效边，如图 2-81a 所示。故此线圈匝数仅占该槽正弦分配匝数的一半。A 类安排的绕组的绕组系数稍高于 B 类，但该槽为双层结构，需增加层间绝缘，使槽的有效利用率有所降低。

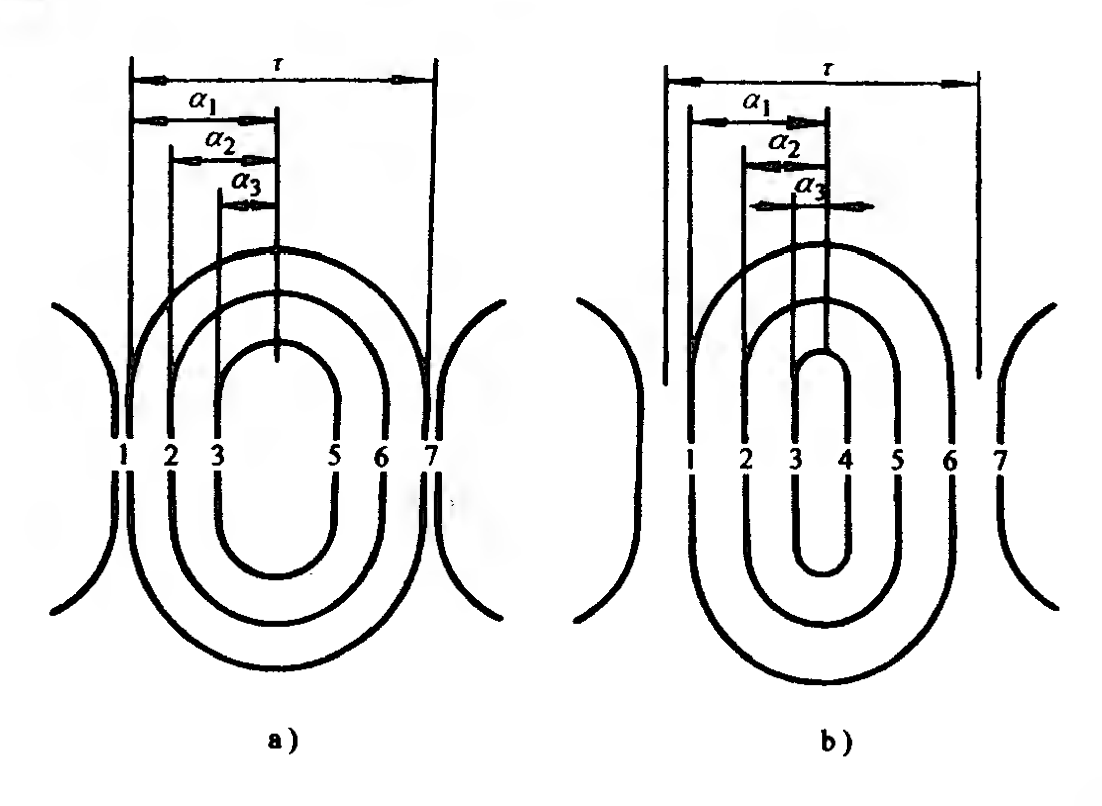


图 2-81　正弦绕组的安排类型

a) A 类安排　b) B 类安排

2）B 类安排　线圈组中最大同心线圈的节距小于极距一槽，故同相相邻两大线圈不重叠，如图 2-81b 所示。B 类绕组的绕组系数略低于 A 类，但所有线圈(单指主绕组或辅绕组而言)均为单层，其线圈匝数都等于该槽匝数计算值。

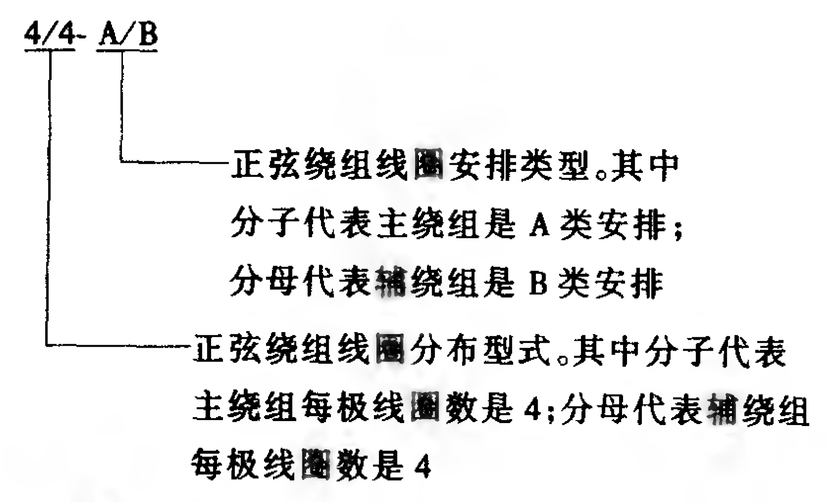
(2) 正弦绕组的分布　单相正弦绕组的主、辅绕组一般不按 1:1 或 2:1 的比例分配槽数，它该占多少槽是由选定的正弦绕组布线方案决定的，因此就可能出现两种分布形式：

1）满圈分布　若一相绕组每极线圈数等于每极槽数（即 $S_P = Z/4p$），这时，电机绕组呈双层分布，称为满圈正弦绕组。它可使电动机磁动势在气隙中获得较完整的正弦分布，从而改善电动机的起动、运行性能，但绕组系数较低，而且工艺性较差。

2）缺圈分布　若一相绕组每极线圈数小于每极槽数（即 $S_P < Z/4p$），这时，电机绕组是单双层分布，称为缺圈正弦绕组。缺圈数可以是一个或几个，缺圈越多则绕组系数越高，但电气性能则降低。通常，为了提高绕组系数，使线圈的线匝更有效地发挥电磁效能，所缺的线圈应是小节距线圈，但在实际应用中，也发现有缺大圈的个别特例。由于缺圈正弦绕组每极线圈较集中，绕组的分布系数略高，故绕组系数稍高于满圈正弦，而线圈数较少，嵌绕工艺性也较好；但不能完全削减 3、5、7 次谐波分量。

(3）单相正弦绕组方案的表示法　正弦绕组主、辅相可以选用相同或不同的布线方案，因此，常见单双层结构的缺圈正弦绕组，这时不一定每槽都嵌入主、辅线圈，也可能不属同一安排类型；但是，在国产单相系列电动机中，应用得最多的还是满圈正弦绕组，如 24 槽的二极 6/6-B、四极 3/3-A 等。

为了区别线圈安排和分布形式，正弦绕组分布方案可用如下形式表示：



如果主、辅绕组安排类型相同（如同是 A 类），则表示型式为 3/2-A，余类推。

（4）正弦绕组方案的匝数分配　单相正弦绕组每极绕组的各圈匝数是按正弦规律分布的，各线圈所占每极匝数的比值由下式确定

$$K_n = \frac{K_{p(x-x')}}{\sum K_{p(x-x')}}$$

式中　$K_{p(x-x')}$——同心线圈 $y=(x-x')$ 的节距系数

$$K_{p(x-x')} = \sin\left(\frac{y}{\tau}\right)$$

τ——绕组极距，槽；

$\sum K_{p(x-x')}$——每极(组)线圈节距系数总和。

根据不同的线圈安排，可算出正弦绕组各种方案中每极线圈匝数的分配匝比。表 2-9 是单相正弦绕组方案的匝数比值系数，使用时可根据选用的正弦方案及每极槽数(极距)查取 $K_n\%$ 值，再由下式计算主、辅绕组各同心线圈的匝数(匝)。

$$\omega_{x-x'} = K_n W_p$$

下面举例说明。

【例 2-6】　有一台分相起动电动机，定子槽数 $Z=24$，极数 $2p=4$，主绕组每极 $W_{pU}=98$ 匝，辅绕组每极 $W_{pV}=48$ 匝，试选正弦方案并求取各线圈匝数。

每极槽数

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{4} = 6 \text{ 槽}$$

今拟选正弦绕组 3/2-A 方案，绕组布线接线如范例图 2-99 所示。由表 2-9 查得主绕组为 3A 时，各线圈匝比分别为 $K_{1U}=26.8\%$、$K_{2U}=46.4\%$、$K_{3U}=26.8\%$；辅绕组为 2A 时，各线圈匝比为 $K_{1V}=36.6\%$、$K_{2V}=63.4\%$。

主绕组每极各线圈匝数：

$$\omega_{1-7} = K_{1U}W_{pU} = 0.268\times 98 = 26 \text{ 匝}$$

$$\omega_{2-6} = K_{2U}W_{pU} = 0.464\times 98 = 46 \text{ 匝}$$

$$\omega_{3-5} = K_{3U}W_{pU} = 0.268\times 98 = 26 \text{ 匝}$$

表 2-9　正弦绕组的匝数分布及绕组系数

方案序号	每极槽数	安排类型	各槽线圈匝数比值系数 K_n% 每极线圈节距槽号 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	平均节距	绕组系数 K_ω
1	3	2A	50	50	50	50																2	0.75
2	4	2A	41.4	58.6		58.6	41.4															2.83	0.828
3	6	2B	57.7	42.3			42.3	57.7														4.15	0.856
4		3B	50.0	36.6	13.4	13.4	36.6	50.0														3.73	0.776
5		2A	36.6	63.4				63.4	36.6													4.73	0.915
6		3A	26.8	46.4	26.8		26.8	46.4	26.8													4.0	0.804
7	8	2B	54.2	45.8					45.8	54.2												6.08	0.912
8		3B	41.1	35.1	23.8			23.8	35.1	41.1												5.36	0.827
9		2A	35.2	64.8						64.8	35.2											6.7	0.95
10		3A	23.5	43.4	33.1				33.1	43.4	23.5											5.81	0.87
11		4A	19.9	36.8	28.0	15.3		15.3	28.0	36.8	19.9											5.23	0.796
12	9	2A	34.7	65.3							65.3	34.7										7.69	0.96
13		3A	22.7	42.6	34.7					34.7	42.6	22.7										6.76	0.893
14		4A	18.5	34.7	28.3	18.5			18.5	28.3	34.7	18.5										6.06	0.82
15		2B	52.2	47.8						47.8	52.2											7.05	0.928
16		3B	39.5	34.8	25.7				25.7	34.8	39.5											6.28	0.856
17		4B	34.6	30.6	22.7	12.1		12.1	22.7	30.6	34.6											5.75	0.793

（续）

方案序号	每极槽数	安排类型	各槽线圈匝数比值系数 K_n%																			平均节距	绕组系数 K_ω
			每极线圈节距槽号																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
18	12	2B	51.8	48.2									48.2	51.8								10.04	0.959
19		3B	36.6	34.1	29.3							29.3	34.1	36.6								9.15	0.91
20		4B	29.9	27.8	24.0	18.3					18.3	24.0	27.8	29.9								8.39	0.855
21		5B	26.8	25.0	21.4	16.5	10.3			10.3	16.5	21.4	25.0	26.8								7.83	0.806
22		6B	25.9	24.1	20.7	15.9	10.0	3.4	3.4	10.0	15.9	20.7	24.1	25.9								7.59	0.783
23		2A	34.1	65.9										65.9	34.1							10.68	0.978
24		3A	21.4	41.4	37.2								37.2	41.4	21.4							9.68	0.936
25		4A	16.4	31.8	28.5	23.3						23.3	28.5	31.8	16.4							8.83	0.883
26		5A	14.1	27.3	24.5	20.0	14.1				14.1	20.0	24.5	27.3	14.1							8.15	0.829
27		6A	13.2	25.4	22.8	18.6	13.2	6.8		6.8	13.2	18.6	22.8	25.4	13.2							7.73	0.79
28	16	3B	35.1	33.8	33.1											31.1	33.8	35.1				13.08	0.947
29		4B	27.6	26.5	24.5	21.4									21.4	24.5	26.5	27.6				12.21	0.91
30		5B	23.5	22.6	20.8	18.2	14.9							14.9	18.2	20.8	22.6	23.5				11.43	0.869
31		6B	21.1	20.4	18.7	16.4	13.4	10.0					10.0	13.4	16.4	18.7	20.4	21.1				10.79	0.829
32		7B	19.9	19.2	17.6	15.4	12.7	9.4	5.8			5.8	9.4	12.7	15.4	17.6	19.2	19.9				10.34	0.798
33		3A	20.8	40.8	38.4												38.4	40.8	20.8			13.65	0.963
34		4A	15.5	30.3	28.5	25.7										25.7	28.5	30.3	15.5			12.71	0.929

（续）

方案序号	每极槽数	安排类型	各槽线圈匝数比值系数 K_n%																			平均节距	绕组系数 K_w
			每极线圈节距槽号																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
35	16	5A	12.7	24.9	23.4	21.1	17.9								17.9	21.1	23.4	24.9	12.7			11.87	0.889
36	16	6A	11.1	21.8	20.5	18.5	15.7	12.4						12.4	15.7	18.5	20.5	21.8	11.1			11.14	0.848
37	16	7A	10.3	20.0	18.9	17.2	14.4	11.3	7.9				7.9	11.3	14.4	17.2	18.9	20.0	10.3			10.58	0.812
38	18	3B	34.7	33.7	31.6													31.6	33.7	34.7		—	0.958
39	18	4B	27.0	26.2	24.6	22.2											22.2	24.6	26.2	27.0		14.16	0.927
40	18	5B	22.7	22.0	20.6	18.6	16.1									16.1	18.6	20.6	22.0	22.7		13.36	0.892
41	18	6B	20.1	19.5	18.2	16.5	14.2	11.5							11.5	14.2	16.5	18.2	19.5	20.1		12.61	0.855
42	18	7B	18.5	17.9	16.8	15.2	13.2	10.6	7.8					7.8	10.6	13.2	15.2	16.8	17.9	18.5		12.01	0.821
43	18	8B	17.6	17.1	16.0	14.5	12.5	10.2	7.5	4.6			4.6	7.5	10.2	12.5	14.5	16.0	17.1	17.6		11.58	0.795
44	18	4A	15.2	29.9	28.6	26.3												26.3	28.6	29.9	15.2	14.68	0.943
45	18	5A	12.3	24.3	23.2	21.3	18.9										18.9	21.3	23.2	24.3	12.3	13.8	0.91
46	18	6A	10.6	20.9	20.0	18.4	16.4	13.7								13.7	16.4	18.4	20.0	20.9	10.6	13.0	0.873
47	18	7A	9.6	18.9	18.1	16.7	14.7	12.4	9.6						9.6	12.4	14.7	16.7	18.1	18.9	9.6	12.33	0.837
48	18	8A	9.0	17.8	17.0	15.7	13.8	11.6	9.0	6.1				6.1	9.0	11.6	13.8	15.7	17.0	17.8	9.0	11.83	0.806

辅绕组每极各线圈匝数：

$$\omega_{4-10} = K_{1V}W_{pV} = 0.366 \times 48 = 18 \text{ 匝}$$

$$\omega_{5-9} = K_{2V}W_{pV} = 0.634 \times 48 = 30 \text{ 匝}$$

在实践中，有时会发现主、辅绕组匝数与计算的正弦值有出入，这可能是在样机试验中为了满足某些技术性能而进行匝数调整，或因改善工艺要求所需使匝数变动所致。

2. 单相正弦绕组接线

正弦绕组是显极式绕组，同相相邻组间极性必须相反，故采用反接串联接线，若以同心线圈组的大圈引线为“头”，则小圈引线为“尾”，则同绕组的组间是“小与小”或“大与大”相接。

3. 正弦绕组的结构特征

(1) 正弦绕组是由单双层或双层形式的同心线圈组构成

(2) 正弦绕组是显极式绕组，线圈组数等于极数；

(3) 正弦绕组每极线圈(组)分 A、B 两类安排，每极线圈数由选用方案确定，但每极圈数不超过每极槽数；

(4) 正弦绕组每极线圈是由不等匝数的同心线圈组成；

(5) 正弦绕组的线圈节距

A 类　大节距　$y_1 = \tau$

　　　次节距　$y_2 = y_1 - 2$

　　　再次节距 $y_3 = y_2 - 2$　余类推

B 类　大节距　$y_1 = \tau - 1$

　　　次节距　$y_2 = y_1 - 2$　余类推

4. 绕组工艺、性能特点与应用

(1) 正弦绕组具有单、双层绕组的综合特征，主、辅绕组的组合形式灵活可变，故能在应用时根据需要获得相宜的布线方案；

(2) 主、辅绕组分层布线，嵌线方便，但线圈匝数不等，给工艺带来一定难度；

(3) 正弦绕组在气隙中能产生较完善的正弦磁动势，甚至可完全消除三次谐波，并有效地削减高次谐波的影响；

（4）正弦绕组具有良好的电磁性能，从而使电动机的起动性能和运行效率得以改善和提高。目前在单相电动机及家用电器电动机中普及应用。

（四）单相抽头式调速绕组

1. 绕组的构成

抽头调速绕组是单相抽头式调速电动机绕组的简称。主要用于家用电扇、空调内风机等扇类负载。

早年，电风扇为单速，如需调速则串联一只抽头式电抗器来实现。调速电动机则根据此原理，把调速电抗器线圈设计成电机绕组的一部分，即使单相电动机除主、辅绕组之外，增加一个调速用的电抗绕组，以改变绕组的阻抗值来达到外串电抗的调速效果。因为调速绕组在调速过程中是变换于主、辅绕组之间，故又称为中间绕组。

抽头调速是实施于单相电容运转电动机，调速的实质除改变绕组回路阻抗值之外，还起到降低绕组实施电压来达到减速的目的。改变匝数的调速主要有如下方法：

（1）改变主绕组匝数的调速　这种调速是在原主绕组匝数基础上增加匝数，使每匝电压降低，主绕组处于欠电压运行来达到风扇调速；如从电流角度解释即主绕组增匝后，回路阻抗增加而电流减小，则电动机转矩下降，使转速降下来。这时，主绕组增匝愈多则转速愈低。但是，要达到相当的调速效果，通常要增加1~1.5倍的主绕组匝数。既增加了用铜量又造成槽满率过高而可能降低电机功率。

（2）改变辅绕组匝数的调速　它是在原辅绕组上改变匝数实施调速，但理论证明，辅绕组增加匝数的效果极不明显，相反，减少辅绕组匝数却能达到调速目的。但过分减匝会引起主、辅绕组相位改变，甚至造成停转。

（3）双重变匝的调速　单独改变主、辅绕组匝数的调速效果是不够理想的，而且经济效果也不好。然而，在减少辅绕组匝数的同时增加主绕组匝数，可以增强调速效果，这就是双重变匝调

速方法的由来。图 2-82 就是据此原理设计而成的单相抽头调速电动机绕组示例。图中粗实线是主绕组；虚线是辅绕组；细点划线是调速绕组。

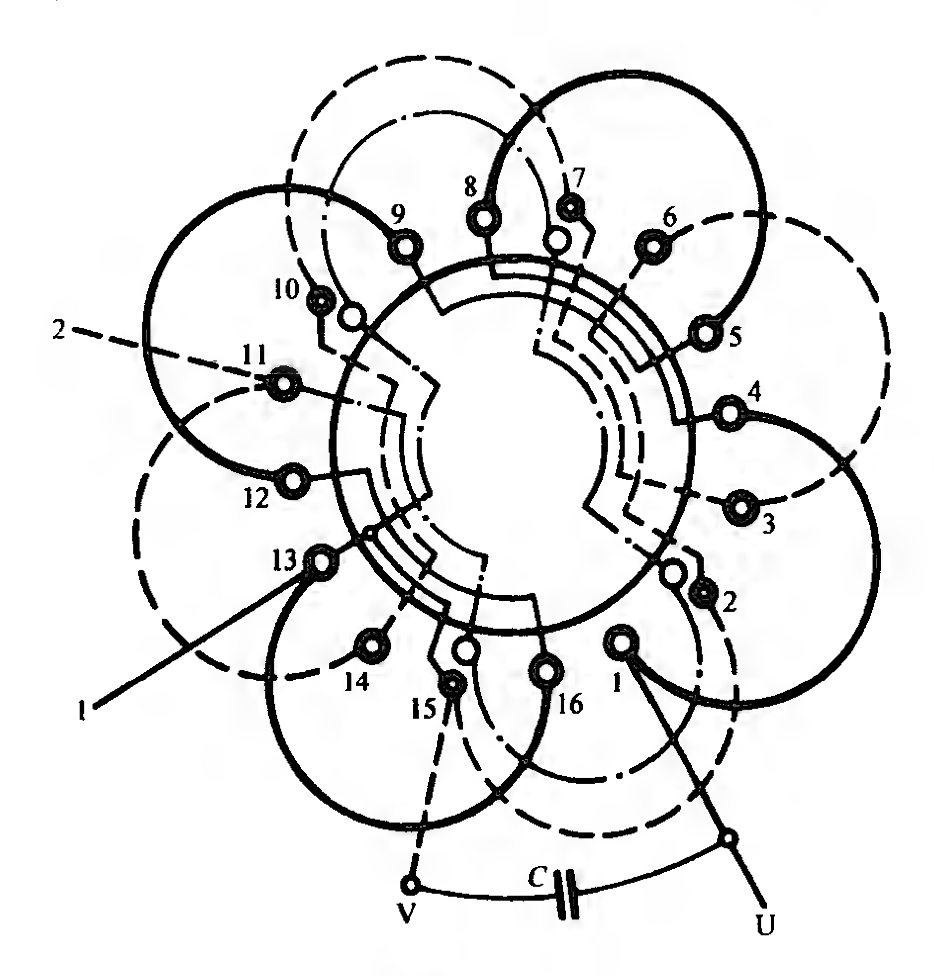


图 2-82 单相抽头调速电动机绕组结构示例

（$Z=16, 2p=4$，L-2 型 4-2（2/2）– 2/2 双速）

2. 调速绕组的接线

抽头式调速绕组电动机要通过接点进行挡位控制，由于绕组接线形式多变，其接线比较复杂。

（1）相绕组的接线　抽头调速的相绕组系分别指主绕组、辅绕组和调速绕组，各绕组在相内分别连接。通常按操作习惯采用反时针方向走线（连接），并设某线圈电流方向逆时为正，顺时为负。

1）主绕组连接　主绕组一般嵌在定子下层面，是显极布线，即四极电扇有 4 只线圈对称分布于定子，接线时必须使相邻线圈极性相反，即线圈间是反接串联。

2）辅绕组连接　辅绕组在定子上安排与主绕组错开 90°电角，它有两种布线：显极时有 4 只线圈，接线与主绕组相同；若只有 2 只线圈是庶极，它呈对称分布，两线圈电流极性相同，即应顺接串联。

3）调速绕组连接　目前，抽头调速主要用双速和三速。如是双速则加一组调速线圈，三速就加二组线圈。每调速组可由 4 只线圈或 2 只线圈组成。4 圈组成的调速组属显极，其接线是反接串联，使相邻线圈反极性；若每组 2 圈的是庶极，该组的二只线圈就要对称分布，接线要顺接串联，使之形成同极性，接线如图 2-83 所示。若是三速则另一调速组 2 只线圈与前一组的安排错开 180°电角度，此二线圈也要同极性，但极性与前一组相反，其具体连接见图 2-84。

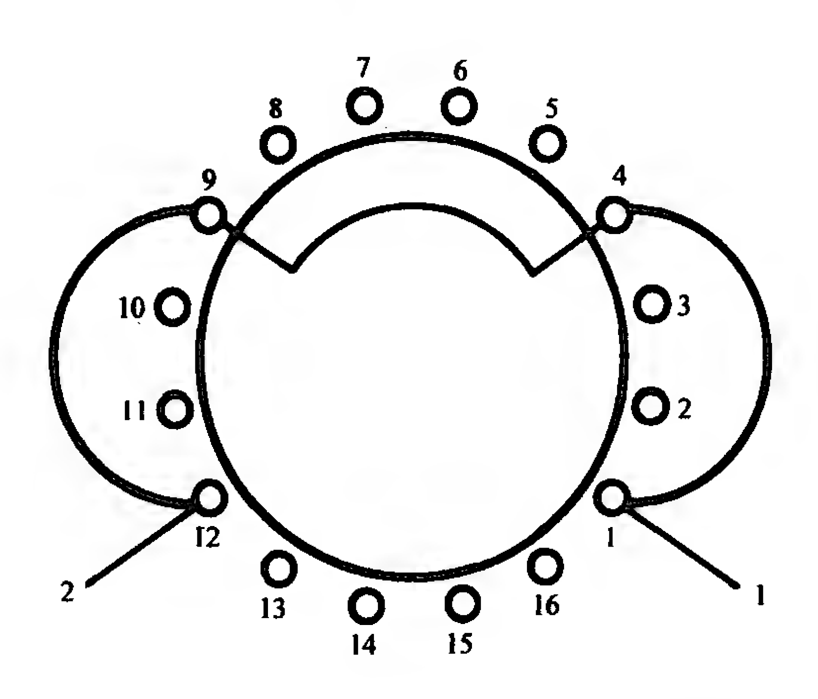


图 2-83　调速绕组庶极布线对称抽头示意图

（2）调速电机的接法与型式　调速电机的接法是指主、辅、调三绕组的连接方法，接法有多种：

1）L-1 型接法　单相电动机主绕组 U 和辅绕组 V 在定子中呈 90°电角度布线，如将其同极性连接绘制便呈“L”形，故称 L 型接法。另外，如将调速绕组 T 安排与主绕组同相位(即安排同槽)，绘图时与主绕组同一轴线上，这时称其为“1”类，从而构

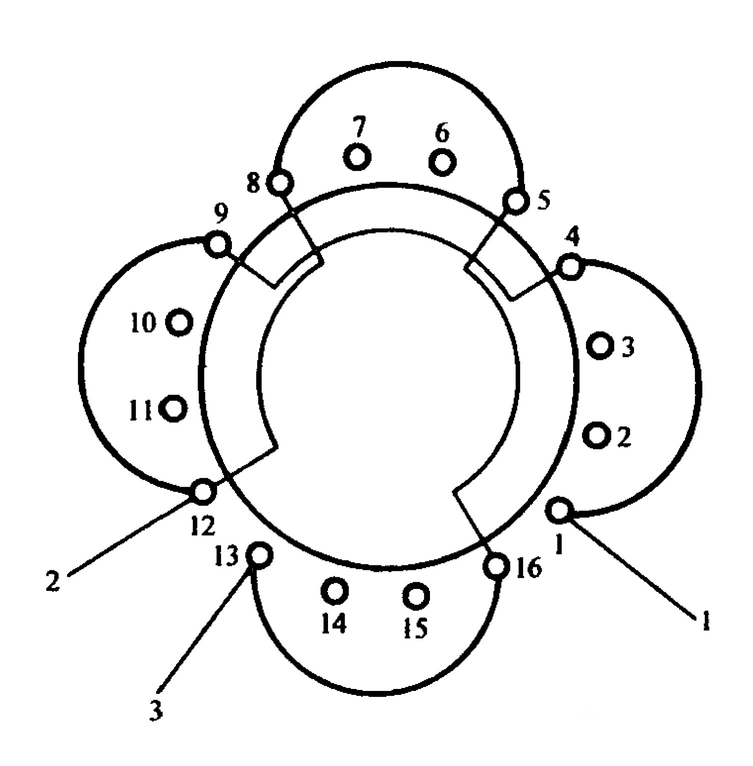


图 2-84　调速绕组对称抽头示意图

成"L-1"型抽头调速绕组，如图 2-85 所示。接法中的 U、V、T_1（图中标号 1)分别为三绕组的同极性端(俗称头端)，接线时将主绕组尾端与调速绕组 T_1 的头端相接，并引出抽头"1"；抽头"2"是调速绕组中间抽头，在绕组内部接线时抽出；T_2 尾端与辅绕组尾端交接后引出抽头"3"。电动机外部接线是把移相电容器 C 接到 U、V 两端，再把调速抽头 1、2、3 分别接到调速开关的高速、中速、低速挡位接点。

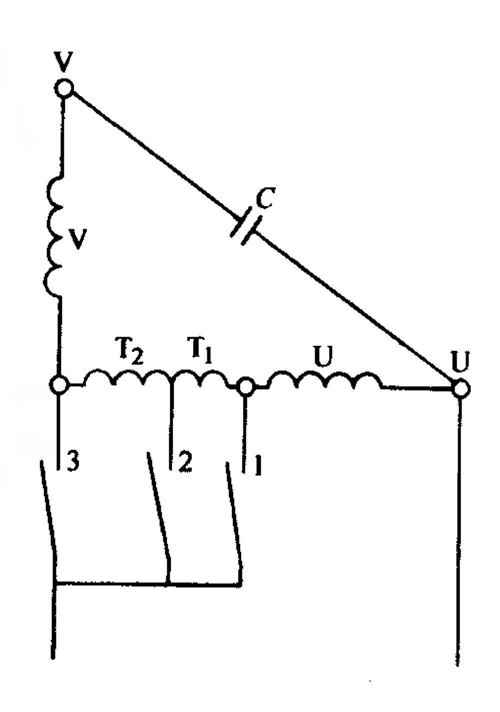


图 2-85　抽头调速电动机 L-1 型接法(三速)

U—主绕组　V—辅绕组

T—调速绕组

工作时，单相电源一个极由 U 接入，另一个极接到开关，当挡位"1"接点闭合时，电流从 1 进入，这时主绕组回路匝数最小(匝数正常值 U)，而辅绕组回路匝数是($V + T_1 + T_2$)最多，电动机转速最高；若将挡位换至"2"时，主绕组回路匝数

$(U+T_1)$增加而辅绕组回路匝数$(V+T_2)$减少，在此双重作用下，电动机减至中速运转。同理，把挡位换到“3”时，转速便减至低速运行。

L-1型调速绕组会使主绕组原来就较高的槽满率变得更高而使输出减少，而且电容器两端电压高，其可达$U\approx\sqrt{2}(1.5\sim2)U_N$，对使用的安全性极为不利。所以一般只适宜应用于额定电压较低，如110V以下的电动机。L-1型调速绕组布线接线可参考范例图2-105。

2）L-2型接法　图2-86是L型另一类接法，它与L-1型的区别是把调速绕组从主绕组回路中移出，并安排到与辅绕组同相位，因此称L-2型接法。

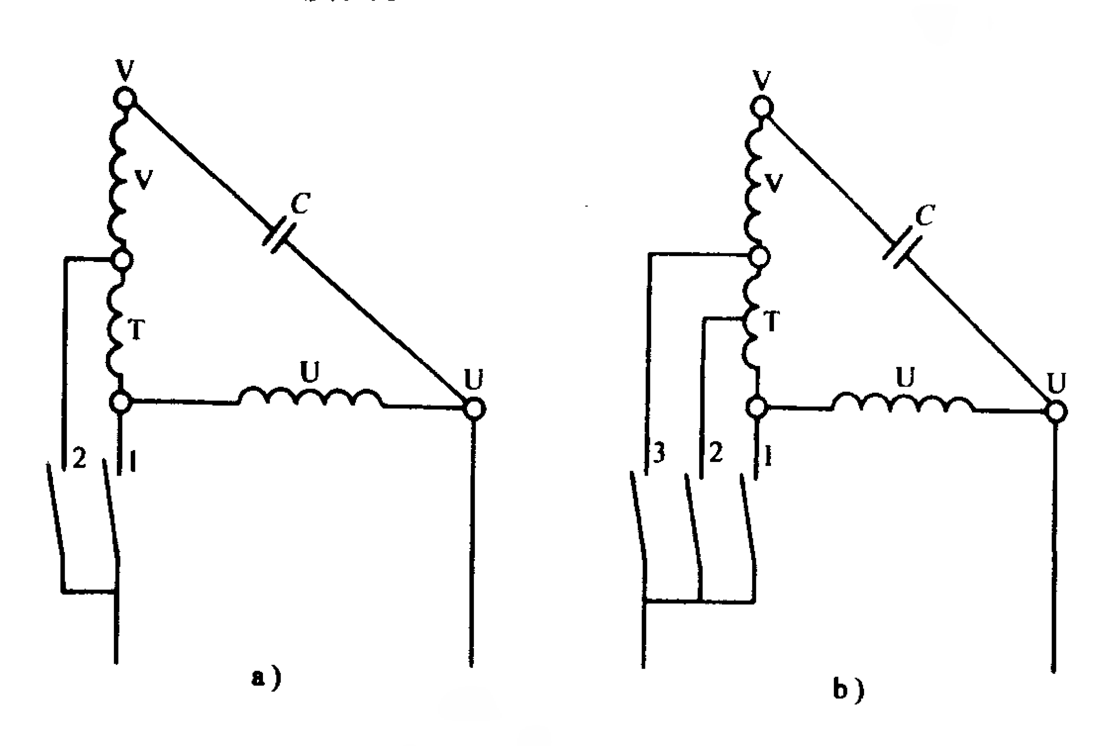


图2-86　抽头调速电动机L-2型接法

a）双速绕组　b）三速绕组

电动机高速运行时，是将电源通过开关“1”挡接通，虽然这时全部调速绕组串入辅绕组回路，但对转速影响极微，而主绕组回路阻抗为最低值，电动机以高速挡运行。当开关换接到“2”（或“3”）挡时，原来的调速匝数转接串入主绕组回路，这样便使辅绕组匝数减少的同时使主绕组匝数增加，故将电动机转速调低下来。

L-2 型接法对电容器耐压要求不高，且其调速效果较好，是目前家用电扇类电动机应用最普遍的接法。L-2 型调速电动机绕组布线接线可参考图 2-82 及范例图 2-106 及图 2-107。

3）L-1/2 型接法　此为三速绕组，它把调速绕组分成两组，一组(T_1)安排与主绕组同相，另一组(T_2)安排与辅绕组同相，绕组接法如图 2-87 所示。高速时按点“1”闭合，调速绕组 T_1 和 T_2 全部串入辅绕组回路，主绕组回路阻抗最小，转速最高；中速时接点“2”闭合，T_1 和 T_2 分别串在主、辅回路，即主绕组增加匝数而辅绕组减少匝数，转速降低；当接点“3”闭合时，T_1 和 T_2 匝数全部串入主绕组回路，电动机进一步减速运行。

这种调速绕组能使主、辅绕组的槽满率安排较均衡，铁心效能被充分利用，但线圈多，嵌线接线耗费工时。L-1/2 型调速绕组是一种较新颖的型式，目前在国产某牌号的空调器风扇电动机应用。

4）T-1 型接法　T-1 型抽头调速绕组接法如图 2-88 所示。它的调速绕组($T_1 + T_2$)是接在主、辅绕组构成的“L”形之外，从而形成倒转的“T”形，故称“T”型，而它又安排与主绕组同相，故属“1”类，因此称为“T-1”型。

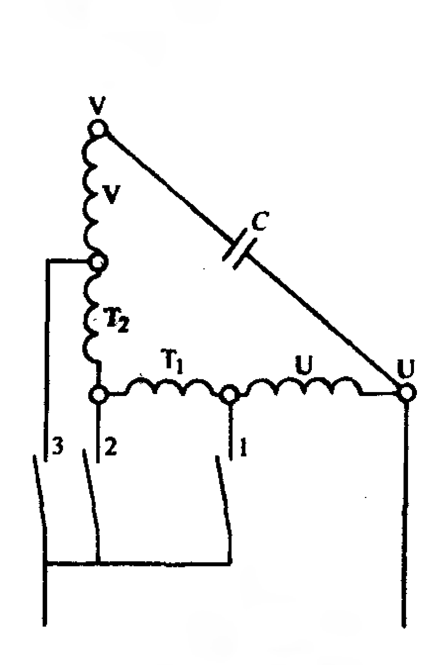


图 2-87　抽头调速电动机 L-1/2 型接法(三速)

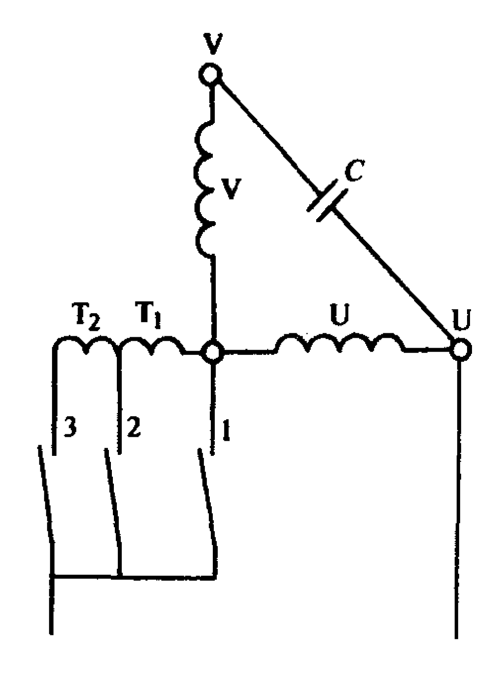


图 2-88　抽头式调速电动机 T-1W 型接法(三速)

高速时接点“1”闭合，调速绕组(T_1+T_2)没有电流，实质是排除在主、辅绕组构成的“L”形之外，调速电动机呈典型单相电容电动机运行。闭合接点“2”为中速，这时电源由“2”接入，主、辅绕组实施电压是电源电压的分压，电机转矩随之降低，电动机在减速运行。当接点“3”闭合时电动机所获分压进一步下降，转速也减至低速运行。另外也可用电流的变化来解释，即把附加的调速绕组视作电抗线圈，中、低速挡位时相当于单相电动机串联电抗线圈后，使回路阻抗增加而工作电流减少，则电动机转速随转矩下降。

T-1 调速的效果更接近于外附电抗器的调速，但要达到 L 型的调速效果，要增加更多的匝数，经济上不合算，而且调速绕组的损耗(I^2R)也增加，温升提高而效率下降，所以不是理想的调速方案。一般适用于工作为短时低速，长期高速运转的电动机。目前这种接法在空调器和电风扇个别品牌中有应用。

T 型抽头调速也有“2”类布线，即调速绕组与辅绕组同相位安排，如 T-2N 型等。此外，图 2-87 中，由于 T 绕组在“L”形之外，故属外(W)接法，还有将 T 绕组接在“L”形之内(N)的内接法。但这些接法的 T 型绕组极少应用，故不作介绍。

5）h 型接法　h 型接法是将调速绕组 T 与辅绕组 V 同相。它把主绕组分成两段，之间抽头接到电容器，而调速绕组也在辅绕组回路抽头，故又称双抽头调速。h 型三速的接法如图 2-89 所示。绕组布线接线可参看范例图 2-110。

由于电容器一端接于主绕组分压点，故可选用耐压较低而容量较大的移相电容器，所以起动转矩较大，调速效果也较好，辅绕组用铜量也略可减少；但线圈数目多，绕制较费工时。目前国内较少应用。

6）Φ 型接法　Φ 型接法是出现较晚的调速型式。调速绕组与主绕组同相，但调速绕组不在主、辅绕组之间，而是在 L 形的一端，并要通过挡位开关才能交连，具体接法如图 2-90 所示。此绕组的调速是通过调速绕组与主绕组串联或并联进行的，故也称串并联接法。

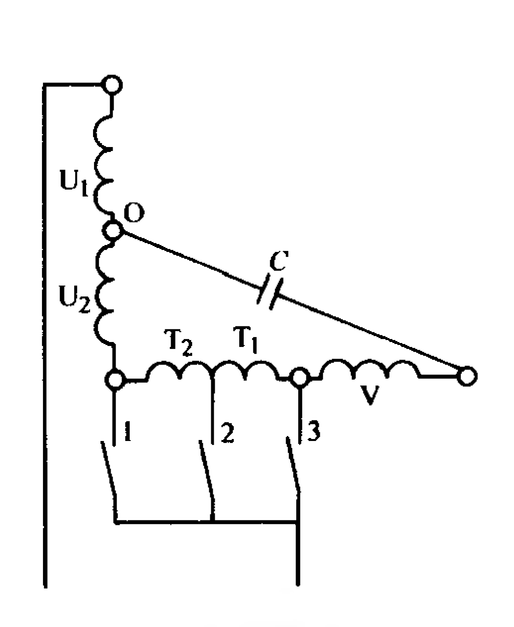


图 2-89　抽头调速电动机 h 型接法(三速)

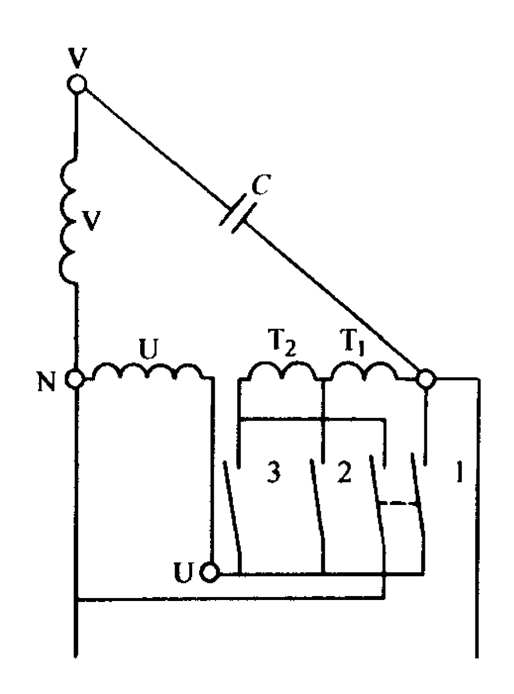


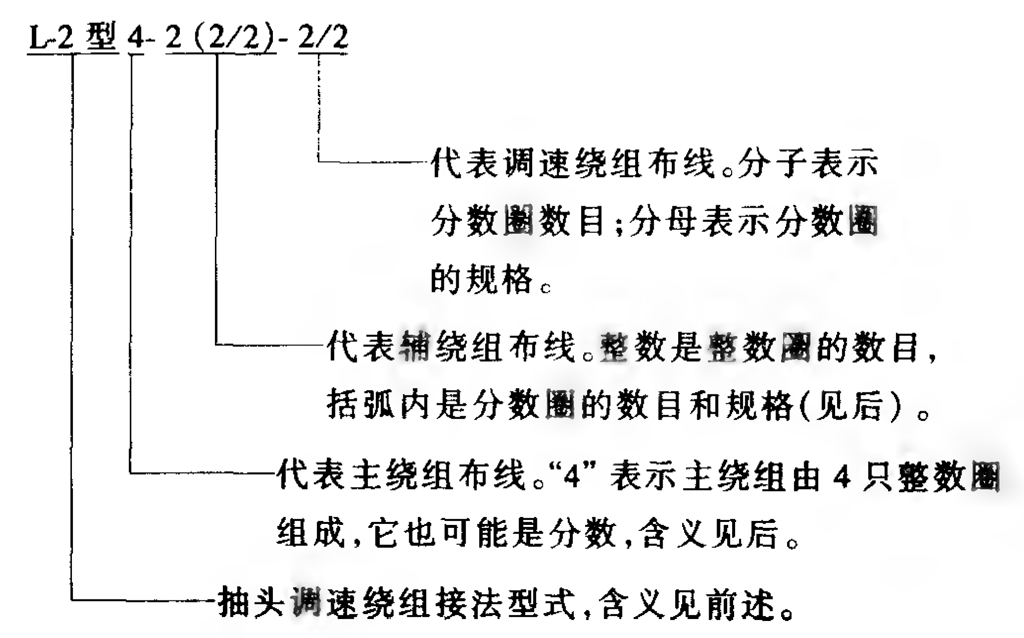
图 2-90　抽头调速电动机 Φ 型接法(三速)

Φ 型抽头调速需用三挡四位开关，其中高速挡是二位(即两对触点)，其余中，低速各一位。高速时二位触点的“1”闭合，调速绕组(T_1+T_2)通过开关接线与主绕组并联，这时主绕组回路有效匝数最少，电流最大，电动机在额定转速运行；中速时“2”点闭合，T_1 与主绕组串联后，主回路阻抗增加使工作电流减少，电动机转速随转矩下降；低速时“3”点闭合，T_1 和 T_2 全部串入主绕组回路，电动机进一步减至低速。

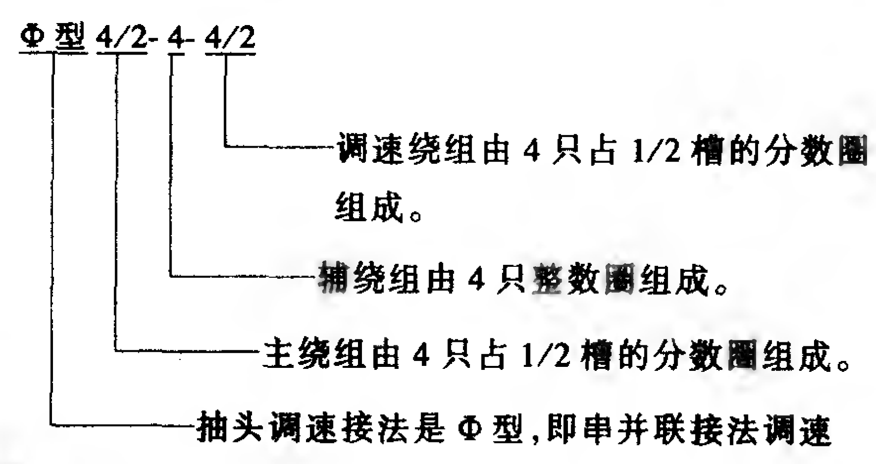
Φ 型调速接法在高速(额定转速)工作时，其额定电流由两条并联支路分流，相对于其他型式的接线，主绕组按电流密度所选导线截面可小很多，从而节省制造成本；此外，这种调速具有调速范围广、低速挡起动转矩大，而且电能效率高，节能效果好，是电扇类电动机较好的调速接法。目前已在电扇中推广应用。

7）抽头调速绕组布接线的型式表示方法　抽头调速绕组在定子上的分布、安排有各种型式，它的线圈有效边可以占据整槽而成为单层线圈，简称“整数圈”；也可以占 1/2 槽的双层线圈，甚至还可占 1/3 或 1/4 槽(即每槽安排 3 或 4 个线圈边)的“分数

圈”。因此，再结合调速绕组的接线类型，便可用如下型式表示抽头调速绕组的布接线：



下面举例说明：



此调速绕组布线接线可参考范例图 2-109。

3. 抽头调速绕组的结构特征

(1) 抽头调速绕组由主绕组、辅绕组和调速绕组构成，并分层布线，其层次较普通单相电机多；

(2) 调速绕组引出线多，一般双速出线 4 根；三速出线 5 根；个别型式特例出线更多；

(3) 主绕组仅用显极布线，其余绕组则有用显极也用庶极。

4. 绕组工艺、性能特点与应用

(1) 抽头调速电动机省去外接调速电抗器，简化了电风扇结构，使整机重量减轻，成本降低；

(2) 抽头调速具有调速方便，性能良好、降低功耗，对部分接线型式还可有较好的节能效果；

(3) 调速绕组结构复杂、线圈的种类、数目较多、嵌线、接线较费工时；

(4) 抽头调速绕组应用范围较窄，仅适用于扇类负载，目前广泛用于单相电扇的电容电动机。

第四节 单相新系列及单相电扇电动机绕组布线接线典型范例

单相电动机曾有多种绕组型式，但随着技术进步，要求产品的性能和质量也相应提高，对旧时的绕组型式已很少在系列产品中采用，代之应用的是电磁性能优越的正弦绕组。此外，单相调速电动机绕组结构比较复杂，但在电扇和空调中获广泛应用。为此，本节着重介绍新系列 BO2、CO2、DO2 系列的单相电动机绕组实用型式及目前电扇电动机调速绕组的布接线图，以供修理者借鉴参考。

一、单相正弦绕组 12 槽二极 3/3-B 布线接线图(图 2-91)

1. 绕组结构参数

主绕组				辅绕组			
布线	节距	K_n (%)	K_{wU}	布线	节距	K_n (%)	K_{wV}
3B	1—6	50	0.776	3B	4—9	50	0.776
	2—5	36.6			5—8	36.6	
	3—6	13.4			6—7	13.4	

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例主、辅绕组均用相同的 3B 布线方案，每相有两组线圈，每组由 3 只同心线圈组成，最大节距小于极距，是 B 类满圈正弦。由于全部槽均以双层形式布线，绕组槽满率较高；而且没有

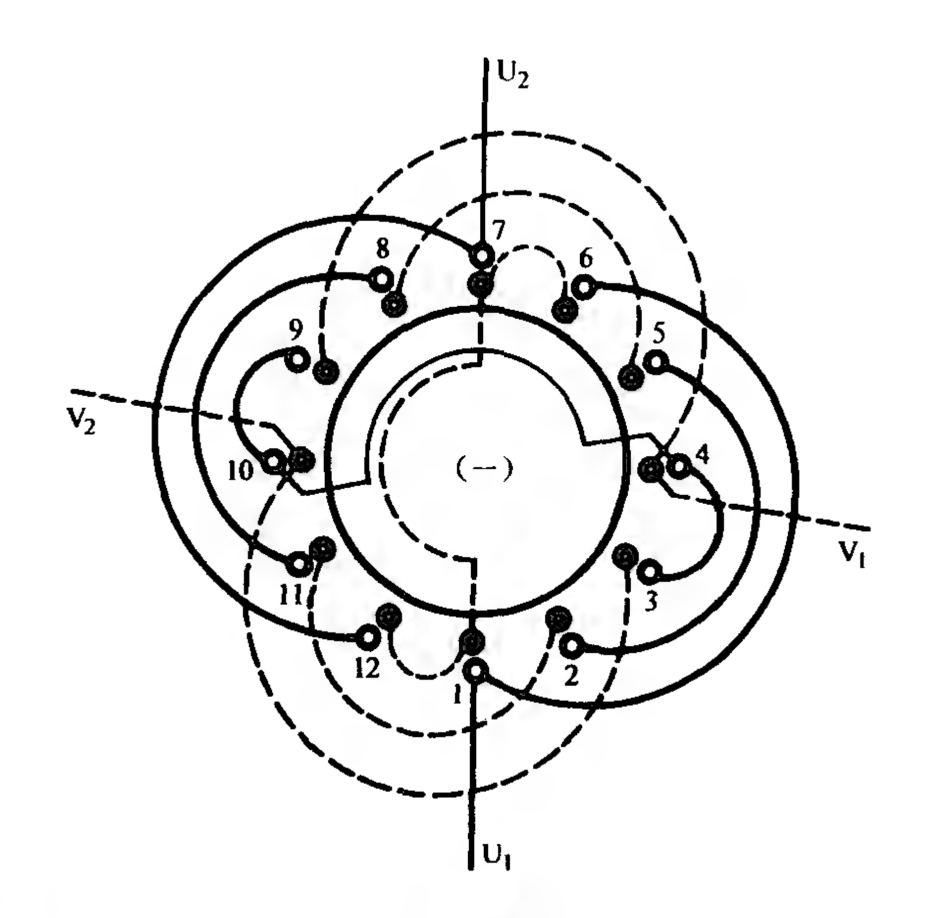


图 2-91　单相正弦绕组 12 槽二极 3/3-B 布线接线图

同相交叠，嵌线不用吊边，但绕组系数略低于相应 A 类布线。此绕组能有效消除高次谐波影响而获得较好的正弦磁势。主要应用实例有 DO2-4512 等。

3．绕组嵌线方法

绕组宜用分层嵌线，即先嵌主绕组，后嵌辅绕组，每组线圈从最小线圈开始整嵌，以后逐级嵌入，主、辅绕组嵌完后构成双平面结构。

二、单相正弦绕组 12 槽二极 3/3-A 布线接线图(图 2-92)

1．绕组结构参数

主绕组				辅绕组			
布线	节距	K_n (%)	K_{wU}	布线	节距	K_n (%)	K_{wV}
3A	1—7	26.8	0.804	3A	4—10	26.8	0.804
	2—6	46.4			5—9	46.4	
	3—5	26.8			6—8	26.8	

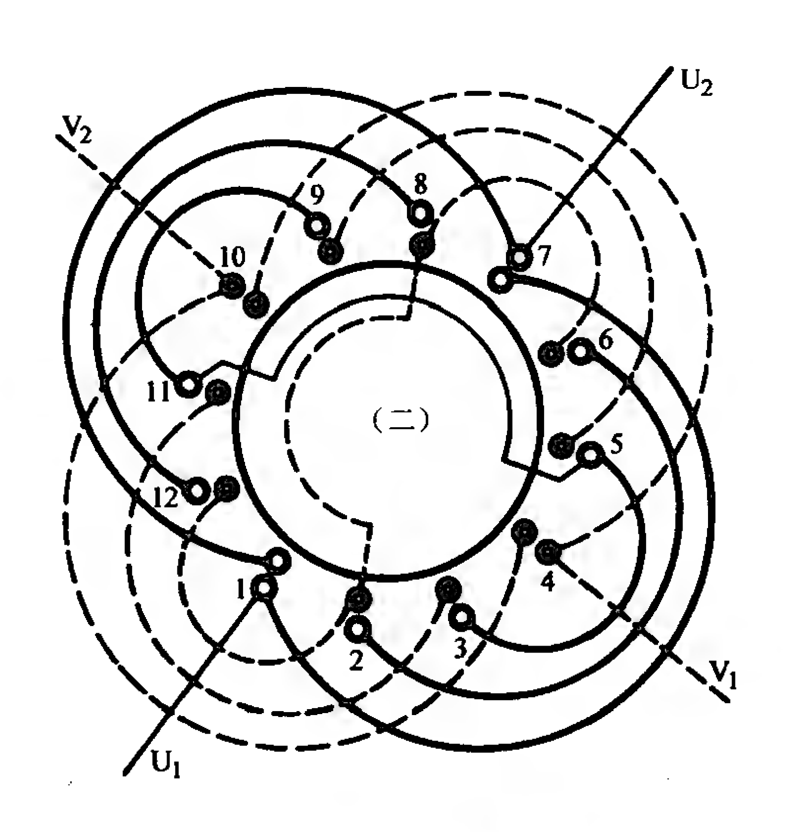


图 2-92 单相正弦绕组 12 槽二极 3/3-A 布线接线图

2. 绕组布接线特点及应用举例

主、辅绕组采用相同的 A 类满圈布线，电机绕组安排成双层形式，每极为 3 圈，最大线圈两有效边同相安排于同槽，绕组占槽率较高，能有效消除 3、5、7 次谐波，电气性能较好，但绕组系数稍低；另外，所用线圈较多，部分槽需层间隔相绝缘，嵌绕较耗工时。此规格正弦绕组是单相电动机应用最少的型式之一，如 DO2-5022 应用此绕组。

3. 绕组嵌线方法

2-12-3/3-A 是满圈正弦布线，各槽安排是双层，一般宜用分相嵌线，先嵌主绕组，后嵌辅绕组，但最大节距线圈是同相交叠，具体操作可将此线圈交叠(吊边)嵌入，也可整嵌。

三、单相正弦绕组 18 槽二极 4/4-B/A 布线接线图(图 2-93)

1. 绕组结构参数

主绕组				辅绕组			
布线	节距	K_n(%)	K_{uU}	布线	节距	K_n(%)	K_{uV}
4B	1—9	34.6	0.793	4A	5—14	18.5	0.82
	2—8	30.6			6—13	34.7	
	3—7	22.7			7—12	28.3	
	4—6	12.1			8—11	18.5	

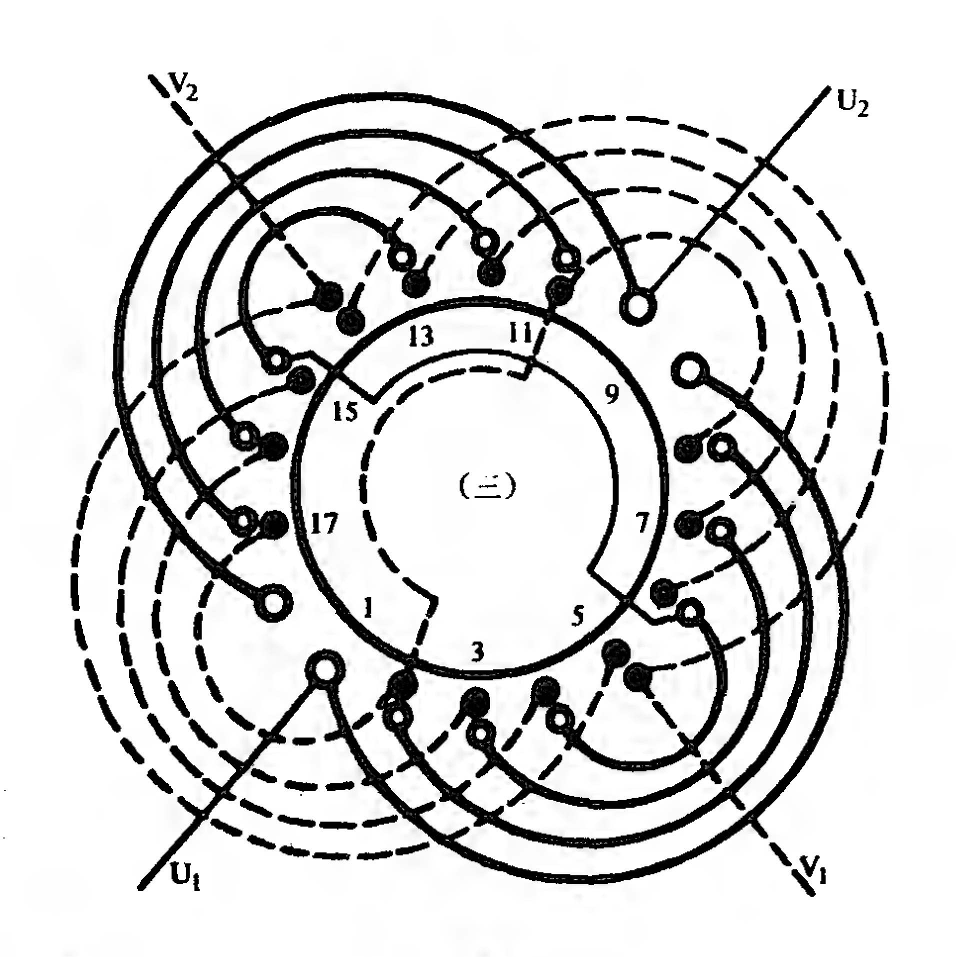


图 2-93 单相正弦绕组 18 槽二极 4/4-B/A 布线接线图

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例是 18 槽二极正弦绕组，主、辅绕组采用不同的布线方案。主绕组每极 4 圈，属 B 类满圈安排，能有效地削减 3、5、7 次谐波，有较好的运行性能，但绕组系数稍低；辅绕组是缺一圈的 A 类安排，消除 3 次谐波不理想，但如应用起动型电动机则对电动机运行性能无碍。此绕组实际应用于 JZ08A-2 等分相起动电动机。

3. 绕组嵌线方法

绕组嵌线采用分层嵌法，即先嵌主绕组入相应槽中，而每组线圈从小线圈起嵌；辅绕组嵌好后，其端部叠于主绕组上面，故需在主、辅绕组之间衬垫绝缘。本例辅绕组是 A 类，其最大线圈可同槽交叠(嵌线时需暂时吊起一边)，也可整嵌。

四、单相正弦绕组 24 槽二极 5/5-B 布线接线图(图 2-94)

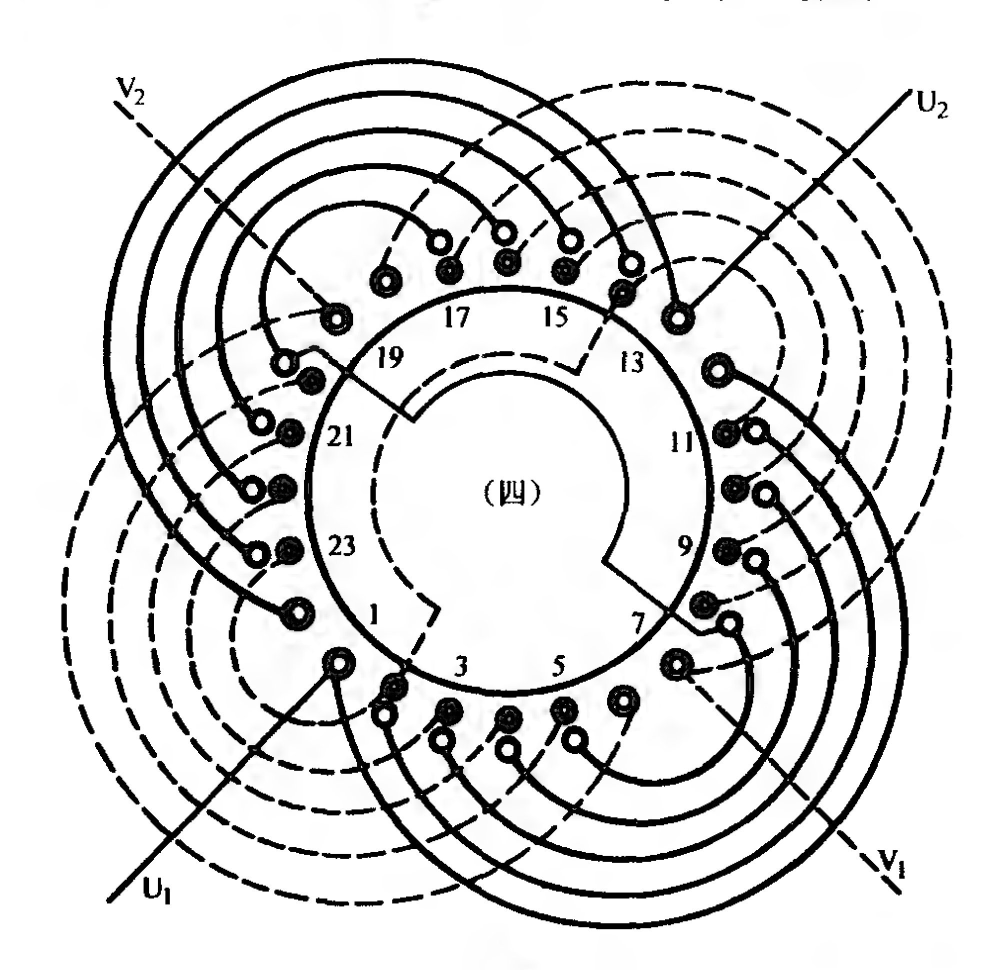


图 2-94 单相正弦绕组 24 槽二极 5/5-B 布线接线图

1. 绕组结构参数

主绕组				辅绕组			
布线	节距	K_n(%)	K_{wU}	布线	节距	K_n(%)	K_{wV}
5B	1—12	26.8	0.806	5B	7—18	26.8	0.806
	2—11	25.0			8—17	25.0	
	3—10	21.4			9—16	21.4	
	4—9	16.5			10—15	16.5	
	5—8	10.3			11—14	10.3	

2. 绕组布接线特点及应用举例

主、辅绕组均采用舍去一只小节距线圈的 B 类布线方案，绕组尚能削弱 3、5、7 次谐波干扰。每极均由 5 只同心线圈组成，同相两组反极性串联。本绕组适用于运行型和起动型，但实际应用多见于起动型单相电动机，如 CO-7122 等。

3. 绕组嵌线方法

绕组采用分层嵌线，先嵌主绕组，后嵌辅绕组，因无同相交叠，故可形成完整的双平面结构。

五、单相正弦绕组 24 槽二极 6/4-B 布线接线图(图 2-95)

1. 绕组结构参数

主绕组				辅绕组			
布线	节距	K_n(%)	K_{wU}	布线	节距	K_n(%)	K_{wV}
6B	1—12	25.9	0.783	4B	7—18	29.9	0.855
	2—11	24.1			8—17	27.8	
	3—10	20.7			9—16	24.0	
	4—9	15.9			10—15	18.3	
	5—8	10.0					
	6—7	3.4					

2. 绕组布接线特点及应用举例

主、辅绕组均系 B 类安排正弦绕组，其中主绕组每极由 6 只线圈组成，最小线圈节距仅为 1 槽，属满圈布线；辅绕组每极 4 圈，是缺 2 圈安排。主绕组能形成较完善的正弦分布气隙磁势，运行性能较好，故适用于起动型单相电动机，主要应用实例有 CO2-8012 等。

3. 绕组嵌线方法

绕组采用分相整嵌，即先嵌主绕组，完成后再嵌辅绕组，从而使两绕组分置于上下两层面。

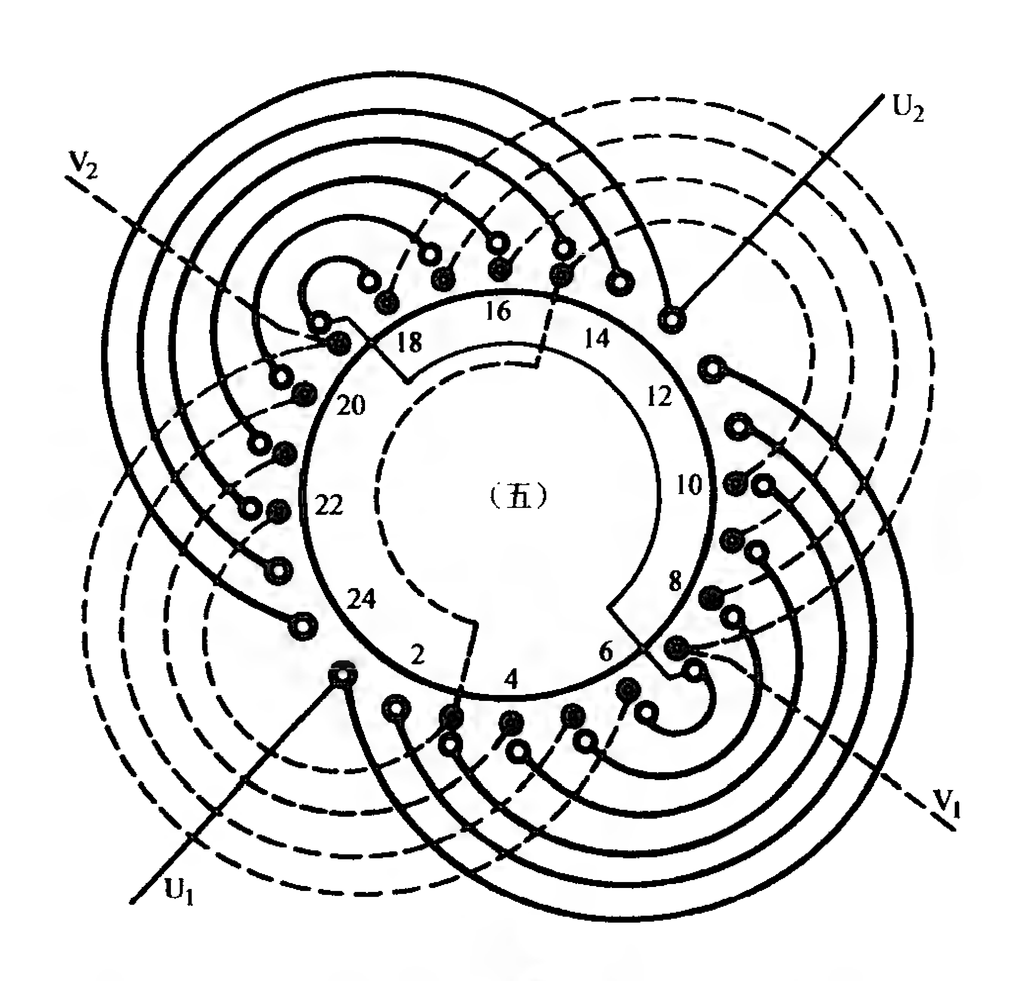


图 2-95　单相正弦绕组 24 槽二极 6/4-B 布线接线图

六、单相正弦绕组 24 槽二极 6/6-B 布线接线图(图 2-96)

1. 绕组结构参数

主绕组				辅绕组			
布线	节距	K_n(%)	K_{wU}	布线	节距	K_n(%)	K_{wV}
6B	1—12	25.9	0.783	6B	7—18	25.9	0.783
	2—11	24.1			8—17	24.1	
	3—10	20.7			9—16	20.7	
	4—9	15.9			8—15	15.9	
	5—8	10.0			7—14	10.0	
	6—7	3.4			6—13	3.4	

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例绕组采用相同的 B 类正弦满圈布线，每极线圈均为 6 圈，能有效消除 3、5、7 次谐波影响。绕组线圈呈双层分布，线

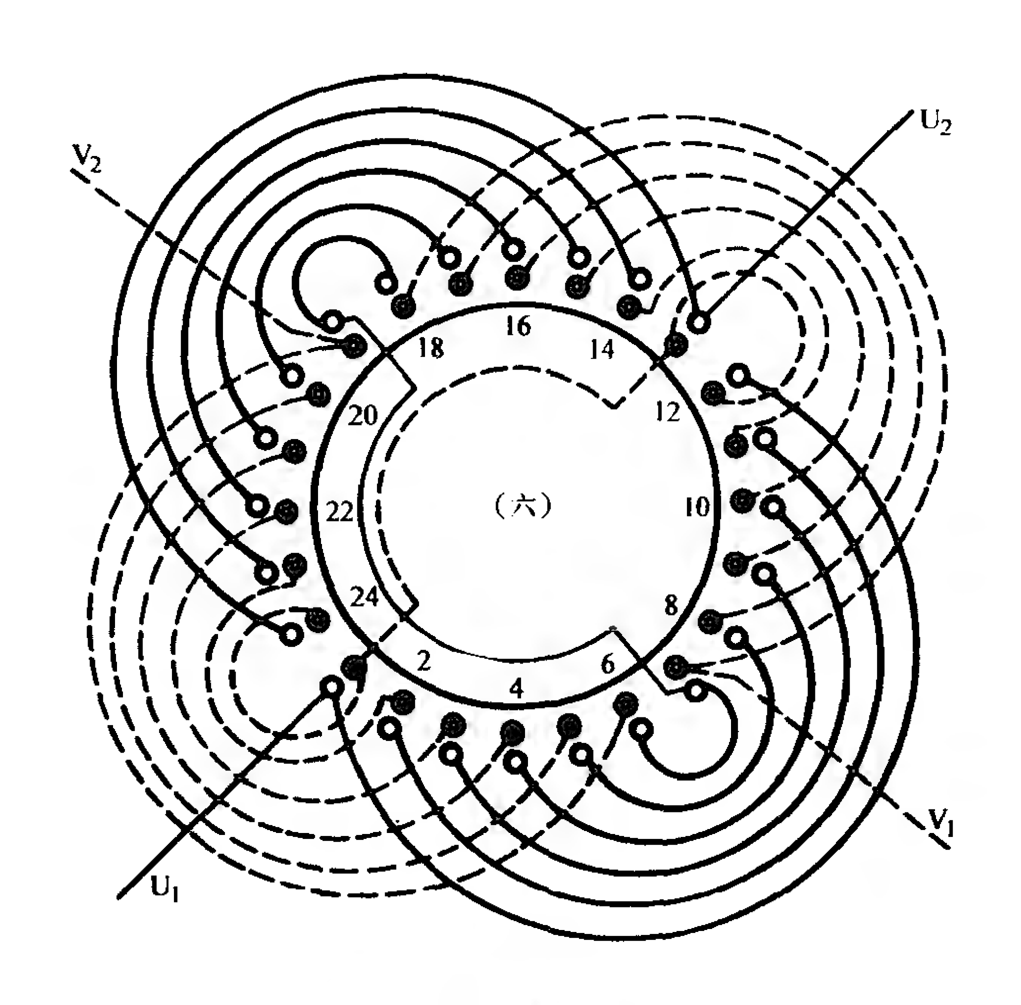


图 2-96 单相正弦绕组 24 槽二极 6/6-B 布线接线图

圈数多，且每组均有一槽节距的小线圈，增加了嵌线的难度；此外，每极线圈分布广，使绕组系数也较低。此绕组既可用于运行型，也可用于起动型，是系列电动机应用最多的绕组型式，如 DO2-6322、BO2-8012 等均采用此绕组。

3. 绕组嵌线方法

本绕组属 B 类，没有同相交叠线圈，故宜用整圈嵌线法，先嵌主绕组，后嵌辅绕组，最后形成双平面的端部结构。

七、单相正弦绕组 12 槽四极 2/1-A/B 布线接线图(图 2-97)

1. 绕组结构参数

主绕组				辅绕组			
布线	节距	K_n (%)	K_{wU}	布线	节距	K_n (%)	K_{wV}
2A	1—4	50	0.75	1B	3—5	100	0.866
	2—3	50					

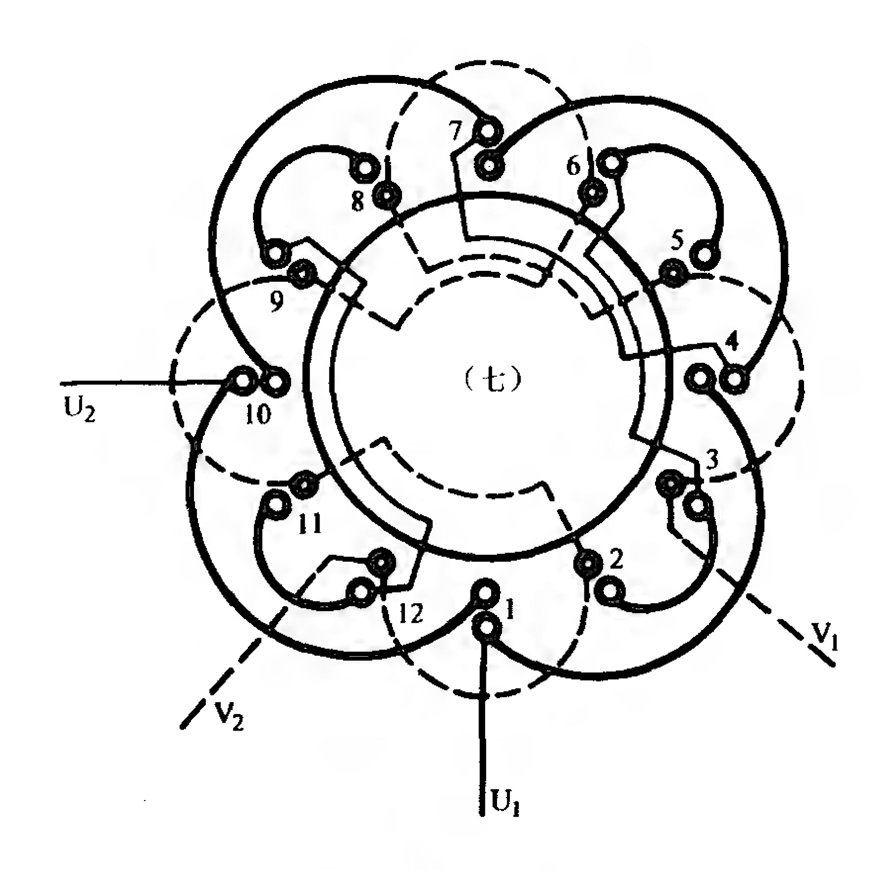


图 2-97　单相正弦绕组 12 槽四极 2/1-A/B 布线接线图

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例主绕组是 A 类安排，每极由 2 只同心线圈组成；辅绕组则采用 B 类安排，但每组只有 1 只线圈，故呈单链形式，所以绕组属非正常的正弦绕组。此绕组是显极接线。因槽数太少，虽安排满圈，但绕成的正弦绕组仍难以形成完整的正弦波气隙磁势，故存在较大的高次谐波干扰，电磁性能较差；但由于线圈少，节距短，嵌线相对容易，故宜用于功率很小的电动机。应用实例有 DO2-4514 等。

3. 绕组嵌线方法

本绕组采用分相嵌线。先嵌主绕组，后嵌辅绕组。因辅绕组是 B 类，采用整嵌便可使全部线圈处于同一平面上；而主绕组是 A 类，每组中的最大线圈呈同相交叠状，故若用整圈嵌线时，宜将每两组对称嵌入，否则也可用交叠嵌法，即先将小线圈整嵌，再把大线圈沉边嵌入，浮边吊起，然后从第 2 组开始就可进

行整嵌，最后才把原来吊起的线圈边嵌入。

八、单相正弦绕组 24 槽四极 3/2-A 布线接线图(图 2-98)

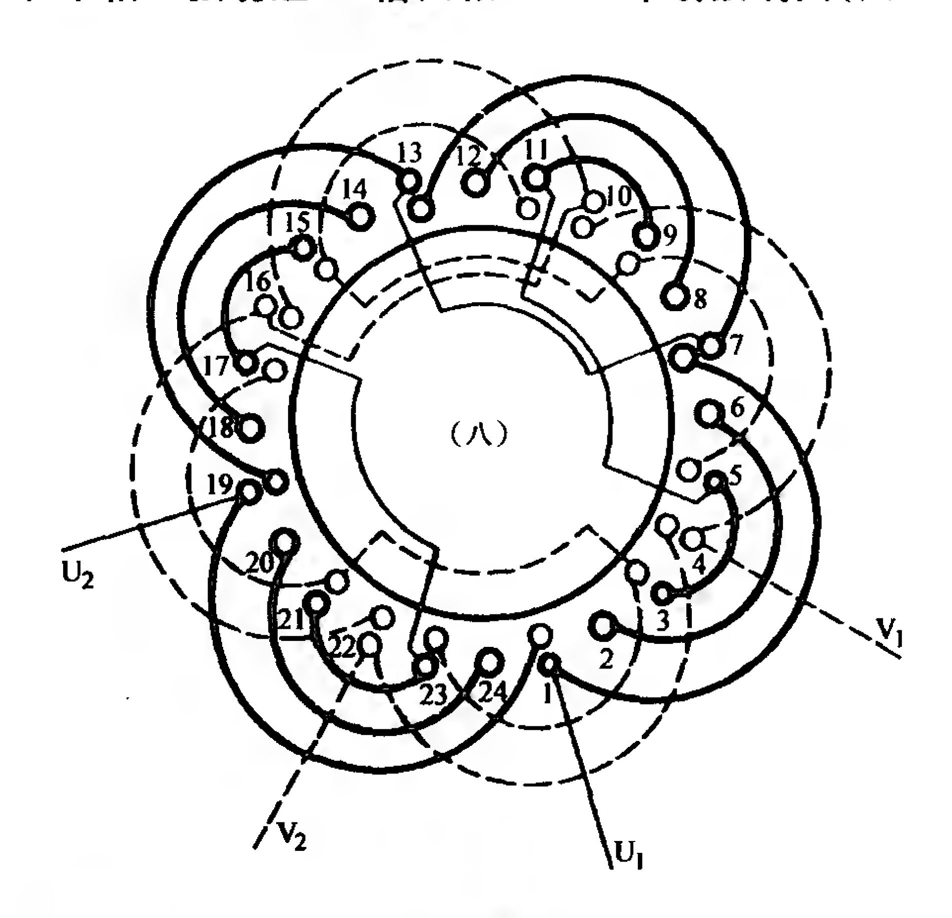


图 2-98 单相正弦绕组 24 槽四极 3/2-A 布线接线图

1. 绕组结构参数

主绕组				辅绕组			
布线类型	节距	K_n(%)	K_{wU}	布线类型	节距	K_n(%)	K_{wV}
3A	1—7	26.8	0.804	2A	4—10	36.6	0.915
	2—6	46.4			5—9	63.4	
	3—5	26.8					

2. 绕组布接线特点及应用举例

主、辅绕组均按 A 类安排线圈。但采用不同的正弦方案，主绕组是三个同心线圈，占槽率较高，且能较有效地削减谐波而获得较完整的气隙圆形磁动势，但绕组系数较低。辅绕组由两个同心线圈组成，绕组系数比主绕组高。绕组为显极布线，同相相

邻组间是反极性连接。适用于起动型电动机，主要应用实例有CO2-8014等电动机。

3. 绕组嵌线方法

绕组采用分相嵌线，先嵌主绕组，后嵌辅绕组，但由于主、辅绕组均是A类，其最大线圈都是同相交叠，故嵌线时有两种操作：

(1) 分相交叠嵌线　每组中小节距线圈先整嵌，最后嵌大线圈时先嵌入沉边，吊起另一边；然后从第2组开始从小到大都可整嵌，最后再把吊边嵌入。

(2) 分相整嵌　主、辅绕组分别嵌线，但每组由小到大嵌入，而最大线圈不作交叠，故嵌线顺序调整为同相线圈组对称嵌入，即每相中先嵌1、3组，后嵌2、4组。

九、单相正弦绕组24槽四极3/3-A布线接线图(图2-99)

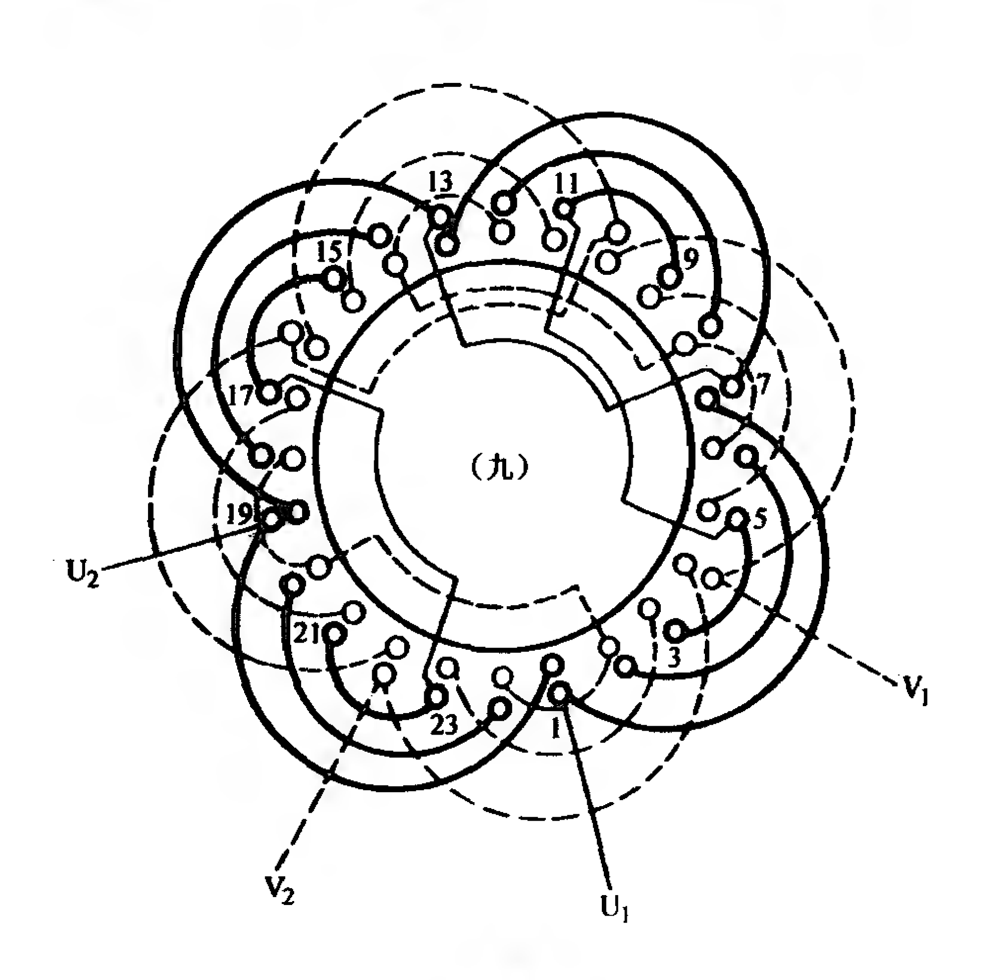


图2-99　单相正弦绕组24槽四极3/3-A布线接线图

1. 绕组结构参数

主绕组				辅绕组			
布线	节距	K_n(%)	K_{wU}	布线	节距	K_n(%)	K_{wV}
3A	1—7	26.8	0.804	3A	4—10	26.8	0.804
	2—6	46.4			5—9	46.4	
	3—5	26.8			6—8	26.8	

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例主、辅绕组均采用3A正弦方案。每极由三只同心线圈组成，最大线圈节距等于极距，故此线圈边分置于槽的上下层。绕组的槽利用率较高，并能消除高次谐波而获得较好的电气性能。此绕组方案适用于运行型电动机，也可用于起动型电动机，是单相电动机产品应用最多的绕组型式之一。绕组为显极式接线。主要应用实例有JYO9A-4、CO-6334电容起动电动机、JZO9A-4、BO2-8024、BO-6324分相电动机、DO-6314、DO2-7124电容运转电动机等。

3. 绕组嵌线方法

此绕组主、辅线圈组的尺寸相同，但参数不一样，嵌线时特别要注意区分，不要嵌错。嵌线方法有两种：

(1) 分相交叠嵌线　主、辅绕组分层嵌线，但最大线圈在第1组嵌线时要吊起浮边，待全部同相线圈嵌完再将吊边嵌入。

(2) 分相整嵌　每相线圈对称(即隔组)嵌入，例如一组和三组全部线圈边在槽底层，而二、四组的大线圈在槽的面层。

十、单相正弦绕组36槽四极4/2-A/B布线接线图(图2-100)

1. 绕组结构参数

主绕组				辅绕组			
布线	节距	K_n(%)	K_{wU}	布线	节距	K_n(%)	K_{wV}
4A	1—10	18.5	0.82	2B	6—14	52.2	0.928
	2—9	34.7			7—13	47.8	
	3—8	28.3					
	4—7	18.5					

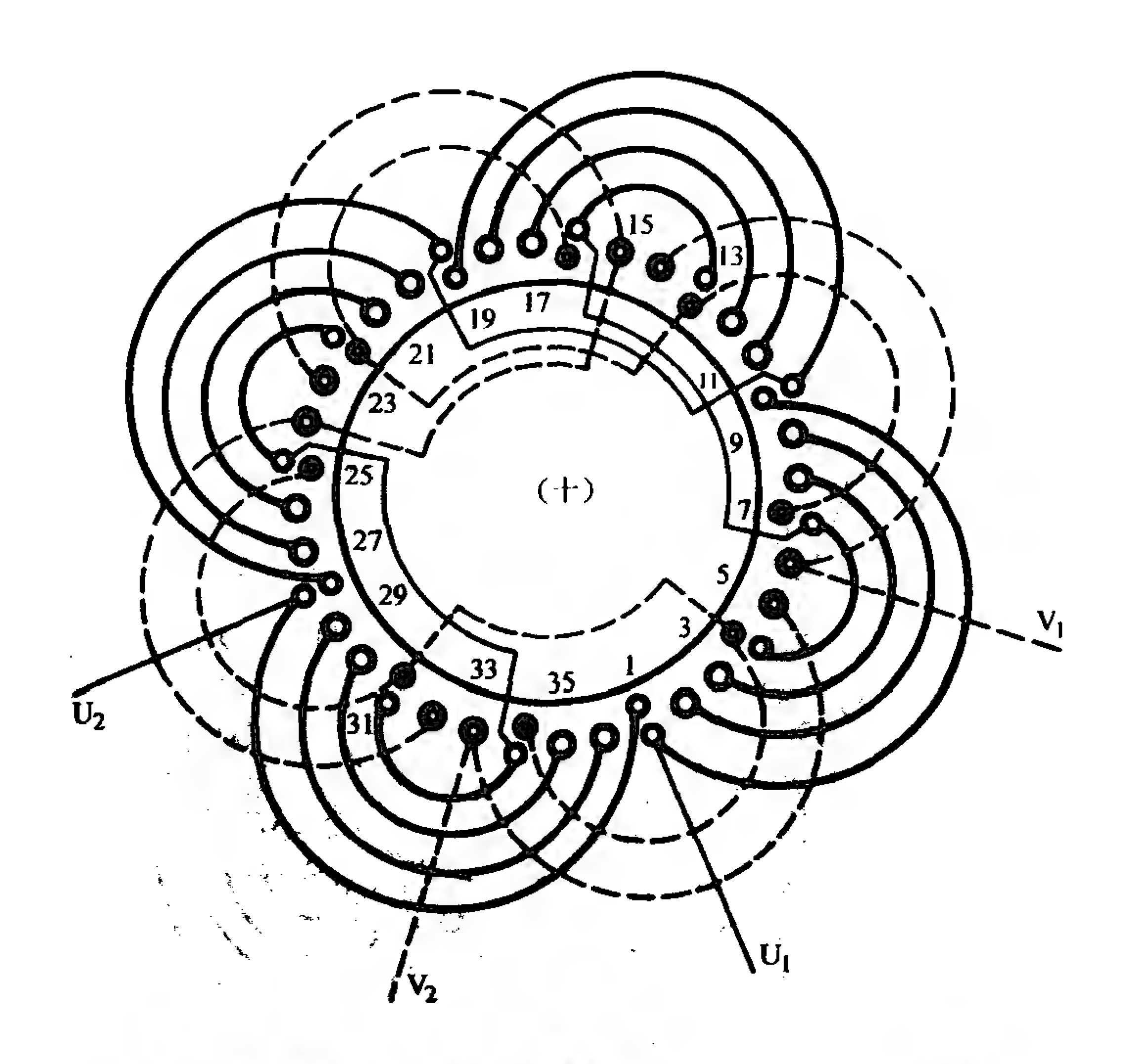


图 2-100　单相正弦绕组 36 槽四极 4/2-A/B 布线接线图

2. 绕组布接线特点及应用举例

主、辅绕组采用完全不同的正弦方案，主绕组是 4A 布线，每极缺一小圈，即每组由 4 只同心线圈组成；辅绕组为 2B 布线，即每极缺 2 圈。由于主绕组占槽较多，可基本消除 3、5、7 次谐波影响，而辅绕组电气性能则较差，故本例适用于起动型电动机。绕组属显极布线，故接线时应使同相相邻线圈组反极性。此绕组实际应用不多，单相电容起动电动机 CO-8014 为应用实例。

3. 绕组嵌线方法

先嵌主绕组，再嵌辅绕组。主绕组的最大线圈是同相交叠，故可将其吊边最后再嵌入；也可采用对称嵌入线圈组的整圈嵌线法。

十一、单相正弦绕组 36 槽四极 4/3-B/A 布线接线图（图 2-101）

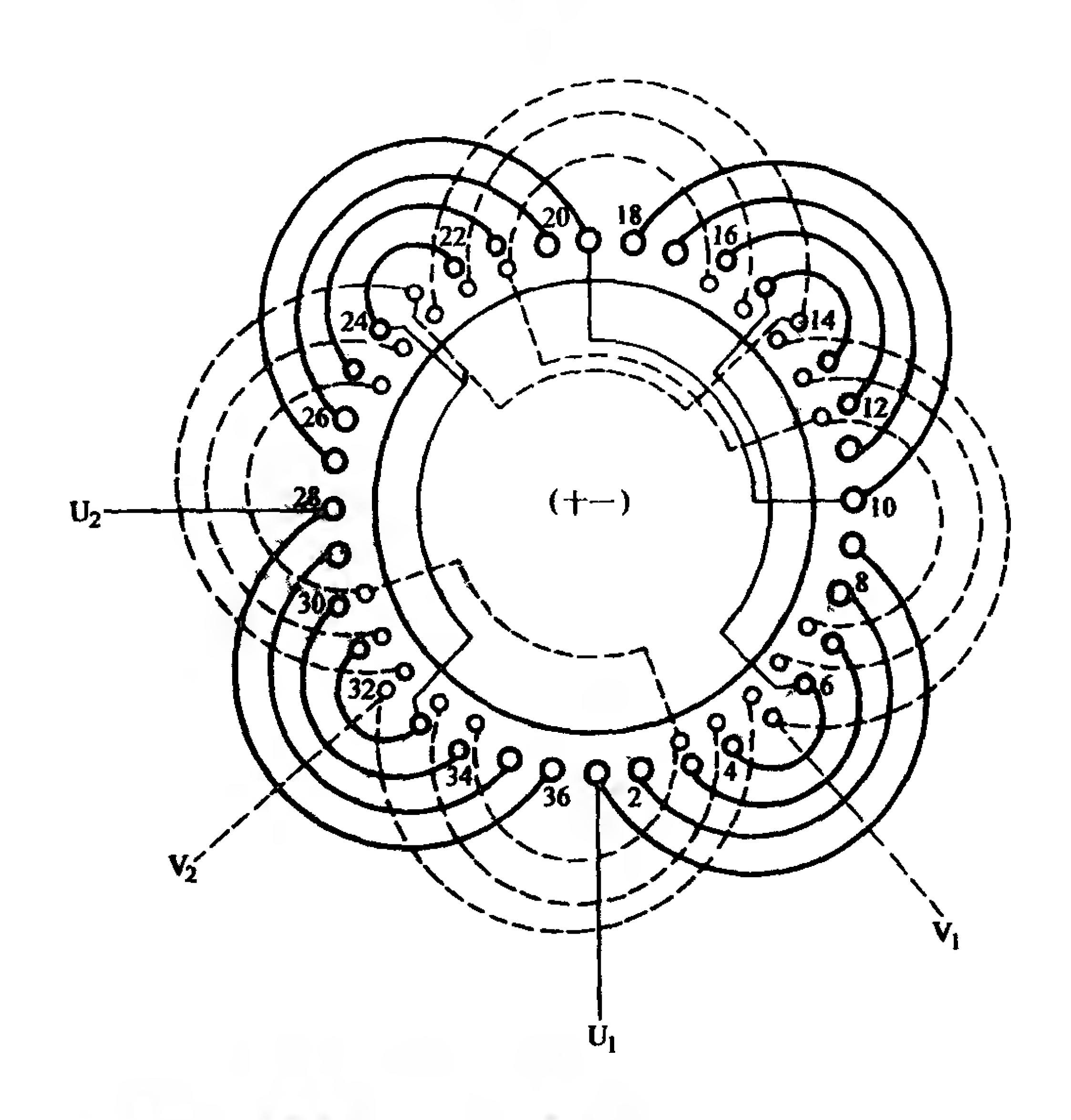


图 2-101 单相正弦绕组 36 槽四极 4/3-B/A 布线接线图

1. 绕组结构参数

主绕组				辅绕组			
布线类型	节距	K_n（%）	K_{wU}	布线类型	节距	K_n（%）	K_{wV}
4B	1—9	34 6	0 793	3A	5—14	22 7	0 893
	2—8	30 6			6—13	42 6	
	3—7	22 7			7—12	34 7	
	4—6	12 1					

2. 绕组布接线特点及应用举例

本例为 36 槽定子，一般用于容量较大的单相电动机。主、辅绕组采用不同的正弦方案，主绕组每极有四只同心线圈，采用 B 类安排，即最大线圈节距小于极距；辅绕组每极为三只线圈，最大线圈节距等于极距，两边跨嵌入槽的上下层。主绕组能在气隙中形成较为完整的圆形磁场，故一般多用于起动型电动机。绕组接线是同相相邻组间反极性连接。主要应用实例有 JY1A-4、JZ1B-4、CO-8024 等起动型单相电动机。

3. 绕组嵌线方法

本例主绕组是 B 类安排，各线圈组无同槽交叠，故用整嵌法逐组嵌线，构成绕组端部下层面；辅绕组嵌于面上，端部则构成上层面，但其大线圈为同槽布线，故其嵌线可采用两组对称嵌入，以避开线圈交叠。

十二、单相罩极式 24 槽四极 2B/2（庶极）绕组布线接线图（图 2-102）

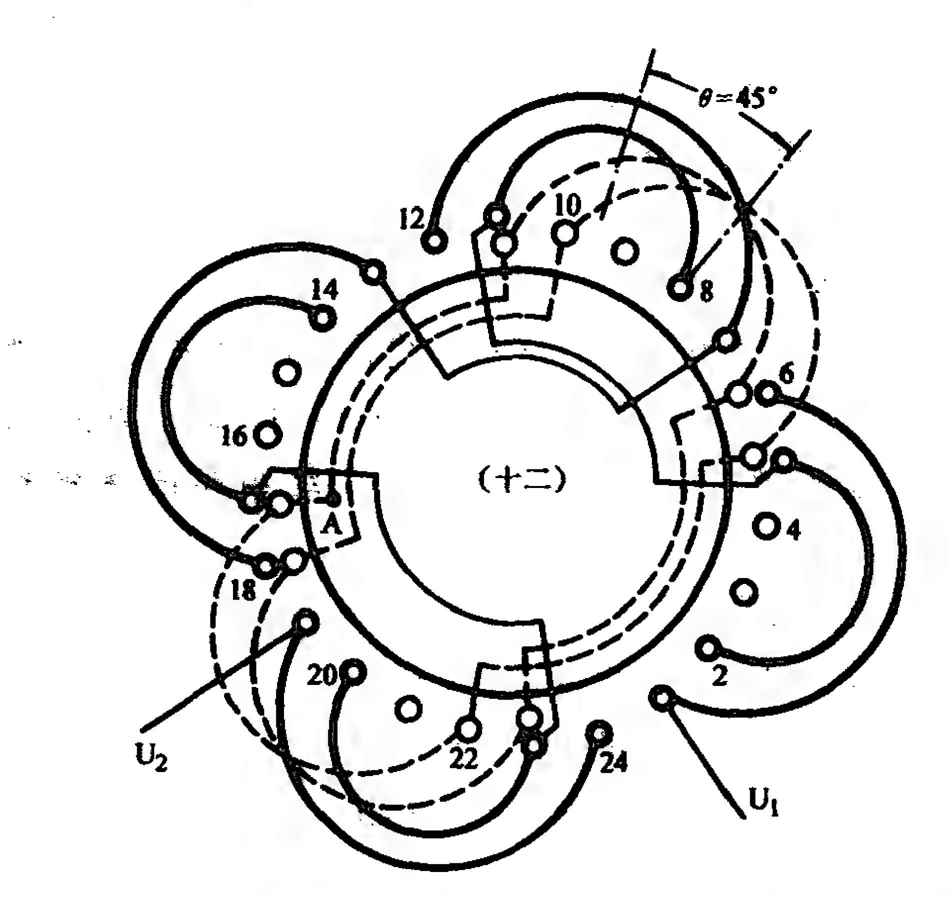


图 2-102　单相罩极式 24 槽四极 2B/2（庶极）绕组布线接线图

1. 绕组结构参数

主相圈数　$Q_U=8$　　主相组数　$u=4$

主相每组　$S_U=2$　　罩极每组　$S_j=2$

每槽电角　$\alpha=30°$　罩极偏角　$\theta=45°$

罩极布线　庶极双圈

主绕组正弦布线参数

布线	极距 τ	节距 y	K_n（%）	K_{uU}
2B	6	1—6	57.7	0.856
		2—5	42.3	

2. 绕组布接线特点及应用举例

主绕组采用正弦 2B 布线，每极 2 圈，绕组存在一定的谐波影响。罩极采用庶极布线，即四极电机用两组交叠双圈对称分布；而且，为了增加罩极回路电阻而用长跳连接，即设绕行从图中 A 点开始，绕过本极一线圈后即跳接到另一极线圈再回到本极另一圈，再到另极一圈后返回本极并短接于 A 点。本绕组罩极偏角 $\theta=45°$，能兼顾起动和运行性能。绕组应用于厨用通风机的电动机。

3. 绕组嵌线方法

本例主绕组是 B 类，采用整圈嵌线将主绕组嵌入相应槽内，其端部能构成整齐的布线平面；垫好绝缘后用手绕嵌罩极绕组。

十三、单相罩极式 24 槽四极 3A/2 绕组布线接线图（图 2-103）

1. 绕组结构参数

主相圈数　$Q_U=12$　　主相组数　$u=4$

主相每组　$S_U=3$　　罩极每组　$S_j=2$

每槽电角　$\alpha=30°$　罩极偏角　$\theta=45°$

罩极布线　同心双圈

主绕组正弦布线参数：

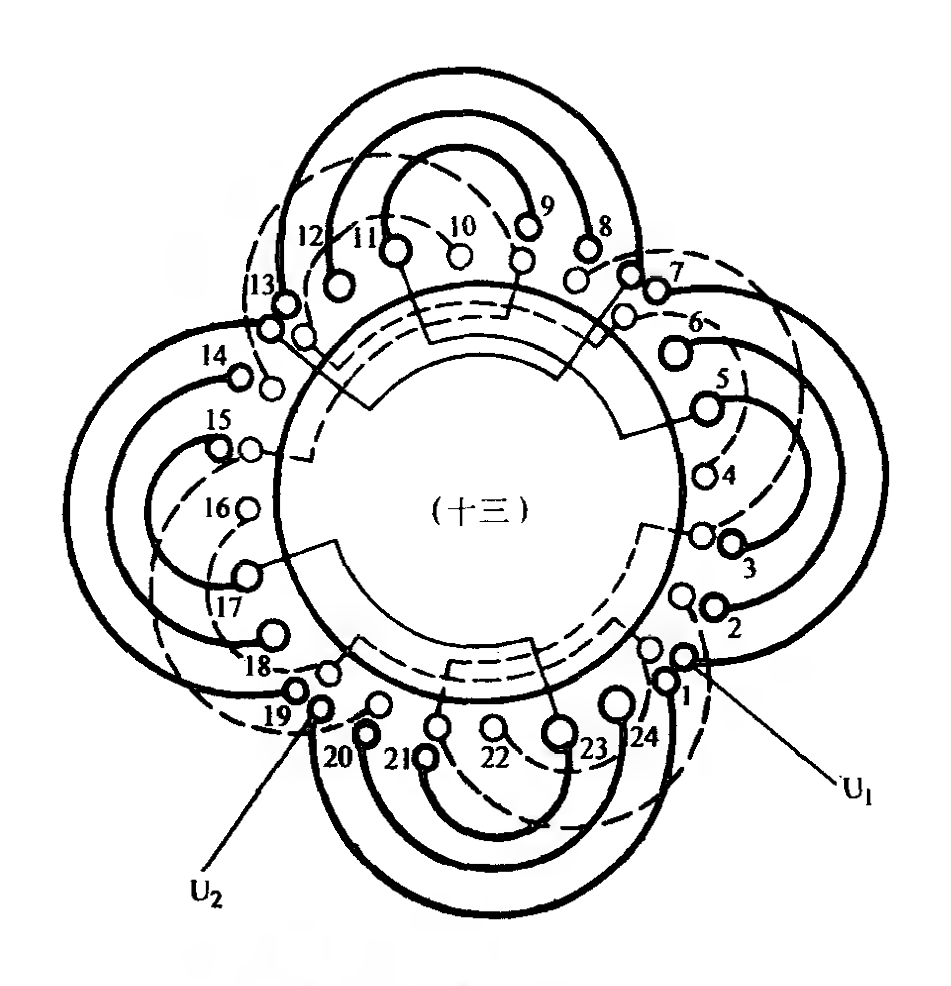


图 2-103 单相罩极式 24 槽四极 3A/2 绕组布线接线图

主绕组					罩极绕组	
布线类型	极距	节距	K_n(%)	K_w	布线类型	节距
3A	6	1—7	26.8	0.804	连绕闭路短接	4—7
		2—6	46.4			3—8
		3—5	26.8			

2. 绕组布接线特点及应用举例

主绕组每极有三只线圈，占槽率较高，但绕组系数较低，采用正弦布线，能有效地削减高次谐波而获得较好的电磁性能。罩极绕组每极有两只线圈(手绕线匝)，其极性也随主绕组改变，即相邻极间线圈是反极性的(设任意一点电流流向而言)。图中罩极接线是四组短接成一个回路，为了提高起动转矩，也有采用两个或一个线圈组自行短接成两个或四个闭合回路的。这种绕组主要

应用于单相鼓风机用电动机。

3. 绕组嵌线方法

主绕组属 A 类，即大线圈是同相同槽，且还要嵌入罩极圈，因此，推荐采用交叠嵌线，即嵌入主绕组最大节距线圈时吊起另边，以后各组整嵌，最后才把吊边嵌入相应槽上层。罩极绕组采用手绕，可从图中任意点起嵌，绕嵌完成一组再绕相邻一组，但要如图所示反向绕嵌，最后将尾线与起点短接。

十四、单相 8 槽四极电容式双速电扇 L-2 型 4/2-2/2-2/2 绕组布线接线图(图 2-104)

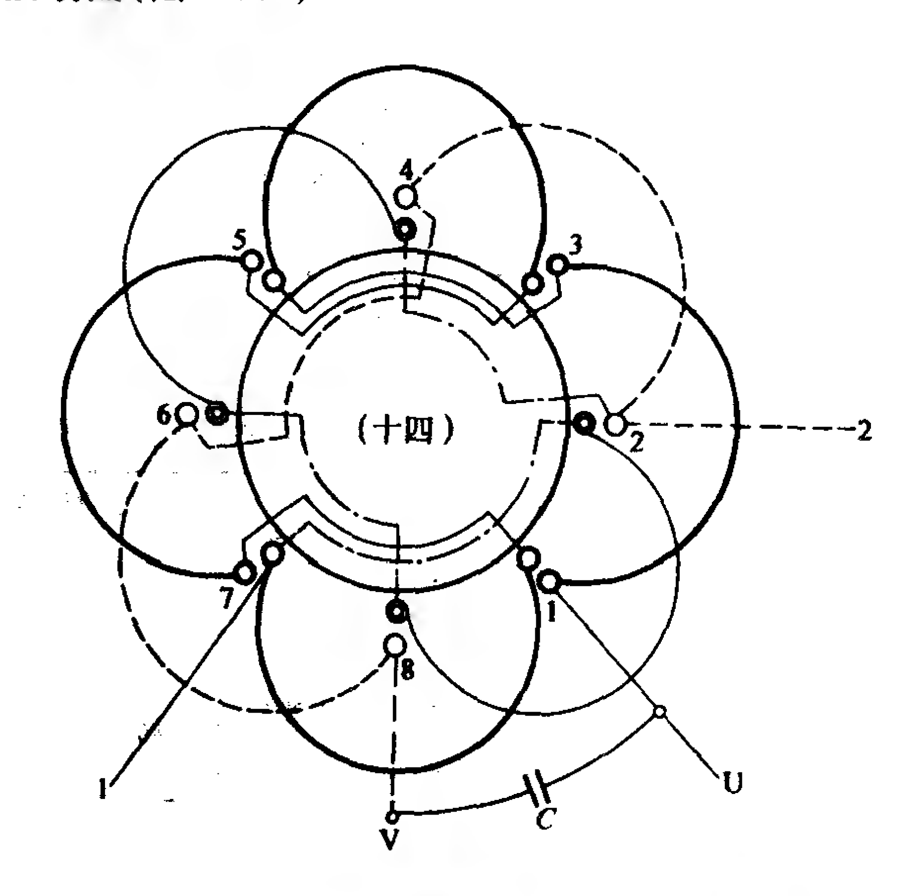


图 2-104　单相 8 槽四极电容式双速电扇 L-2 型 4/2-2/2-2/2 绕组布线接线图

1. 绕组结构参数

总线圈数 $Q=8$　　**绕组组数** $u=3$

主相圈数 $S_U=4$　　**辅相圈数** $S_V=2$

调速圈数 $S_t=2$　　**绕组极距** $\tau=2$

线圈节距 $y=2$　　**绕组系数** $K_w=1$

2. 绕组布接线特点及应用

本例采用 8 槽定子，四极双层布线，共有 8 只线圈。主绕组占 4 只线圈，为显极式布线，按四极分布于对称位置，相邻线圈按反极性串联。辅绕组线圈安排在与主绕组空间相隔 90°电角度的对称位置，它只有两只线圈，要形成四极必须采用同极性顺向串联为庶极式。调速绕组也是两只线圈，与辅绕组同相位，属 L-2 型布线，故安排在距辅绕组 180°电角的空间对称位置；其接线也是同极性顺向串联，但必须与相邻辅绕组线圈的极性相反。本绕组用于双速台式电风扇，其外部接线可参考图 2-86a。

3. 绕组嵌线方法

8 槽电扇主绕组的规范嵌法是交叠法，即第 1 只线圈嵌入一边后吊起另边，后续嵌线可整嵌，最后才把吊边嵌入相应槽上层。但实用上也常用简易嵌法，即将 4 只线圈每 2 只对称整嵌，其布线情况如图 2-104 所示。主绕组嵌完后嵌辅绕组，再嵌调速绕组；因其均是对称分布，故也对称嵌入。

十五、单槽 16 槽四极电容式三速电扇 L-1 型 4/2-4-4/2 绕组布线接线图(图 2-105)

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=12$	绕组组数	$u=4$
主相圈数	$S_U=4$	辅相圈数	$S_V=4$
调速圈数	$S_t=2+2$	绕组极距	$\tau=4$
线圈节距	$y=3$	绕组系数	$K_w=0.924$

2. 绕组布接线特点及应用

本例是 L 型 1 类布线，即调速绕组与主绕组同相位。全套绕组分 4 组，主绕组由占槽 1/2 的线圈组成，嵌槽的底层；辅绕组与主绕组偏移 90°电角度放置，4 只线圈是单层(全槽)；调速绕组与主绕组同槽，4 只线圈分为对称两组，使之变速切换时能保持气隙磁势的对称平衡，从而确保电动机平稳运行。本绕组应用于三速低电压的调速电扇。其外部接线可参考图 2-85。

3. 绕组嵌线方法

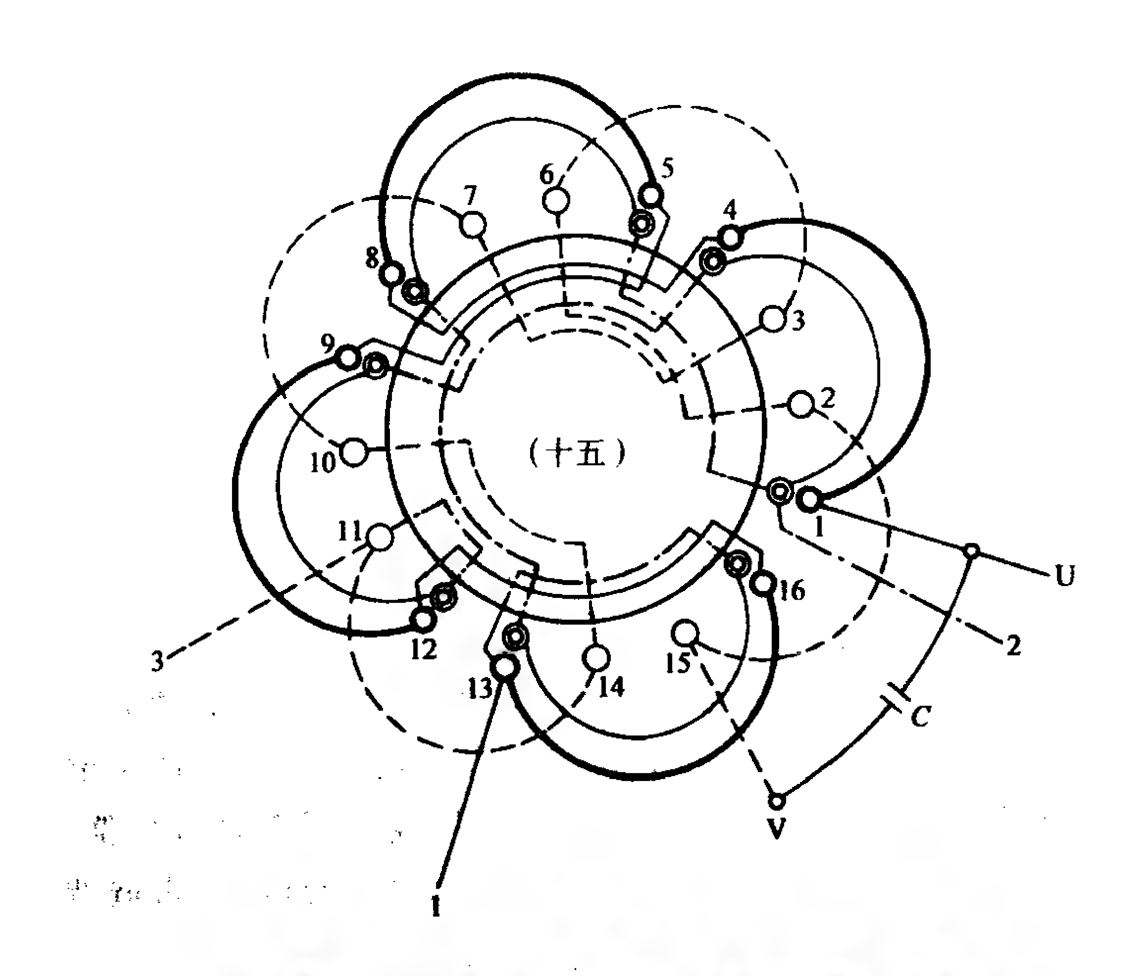


图 2-105 单相 16 槽四极电容式三速电扇
L-1 型 4/2-4-4/2 绕组布线接线图

本例绕组采用分层整嵌，先嵌主绕组，衬垫好绝缘后把调速绕组嵌于其槽的上层；最后再嵌入辅绕组。

十六、单相 16 槽四极电容式双速电扇 L-2 型 4-2-2 绕组布线接线图(图 2-106)

1. 绕组结构参数

总线圈数 $Q=8$ 绕组组数 $u=3$

主相圈数 $S_U=4$ 辅相圈数 $S_V=2$

调速圈数 $S_t=2$ 绕组极距 $\tau=4$

线圈节距 $y=3$ 绕组系数 $K_w=0.924$

2. 绕组布接线特点及应用

本例为 16 槽定子，单层 L-2 型布线。主绕组由四只线圈组成，显极式接线，每极一只线圈，相邻线圈为反极性串联。辅绕组和调速绕组同相，它们均为庶极分布，分别安排在对称位置上

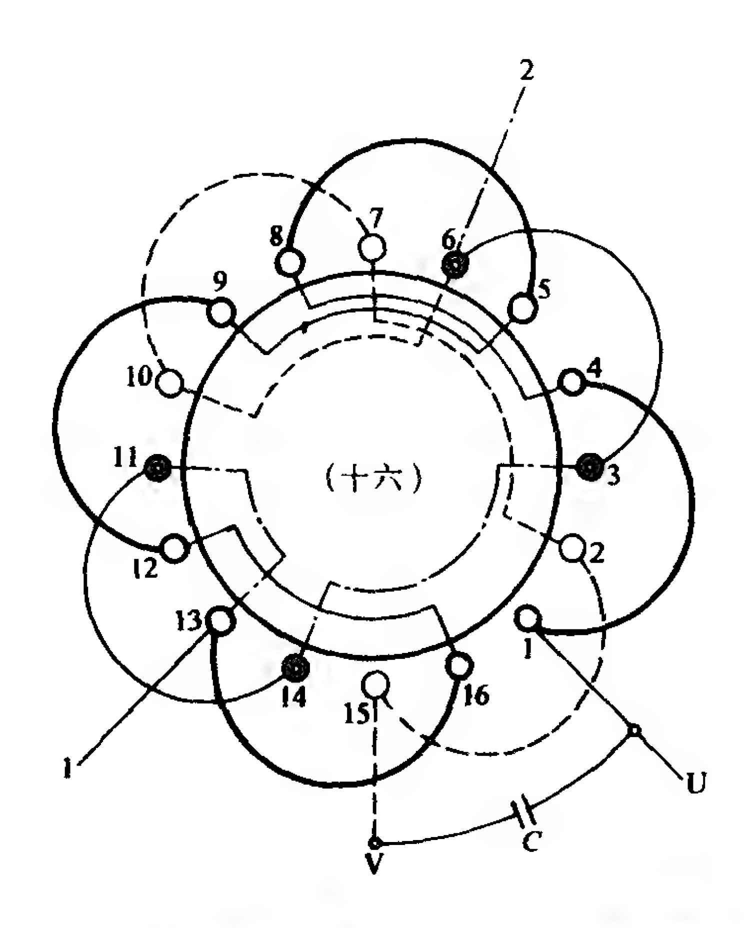


图 2-106　单相 16 槽四极电容式双速电扇
L-2 型 4-2-2 绕组布线接线图

构成四极，故同绕组的两只线圈是同极性串联，即“尾与头”相接。本例绕组的线圈数目少，嵌接线都较简便，是双速电容电扇常用的绕组型式。外部接线可参考图 2-86a。

3. 绕组嵌线方法

绕组全部线圈是单层布线，嵌线宜用分层整嵌，先嵌主绕组于下层面，再嵌辅绕组，最后嵌入调速绕组。由于线圈端部仍有交叠，故各绕组之间用绝缘相隔。

十七、单相 16 槽四极电容式三速电扇 L-2 型 4-4/2-4/2 绕组布线接线圈(图 2-107)

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q = 12$	绕组组数	$u = 4$
主相圈数	$S_U = 4$	辅相圈数	$S_V = 4$
调速圈数	$S_t = 2 + 2$	绕组极距	$\tau = 4$
线圈节距	$y = 3$	绕组系数	$K_w = 0.924$

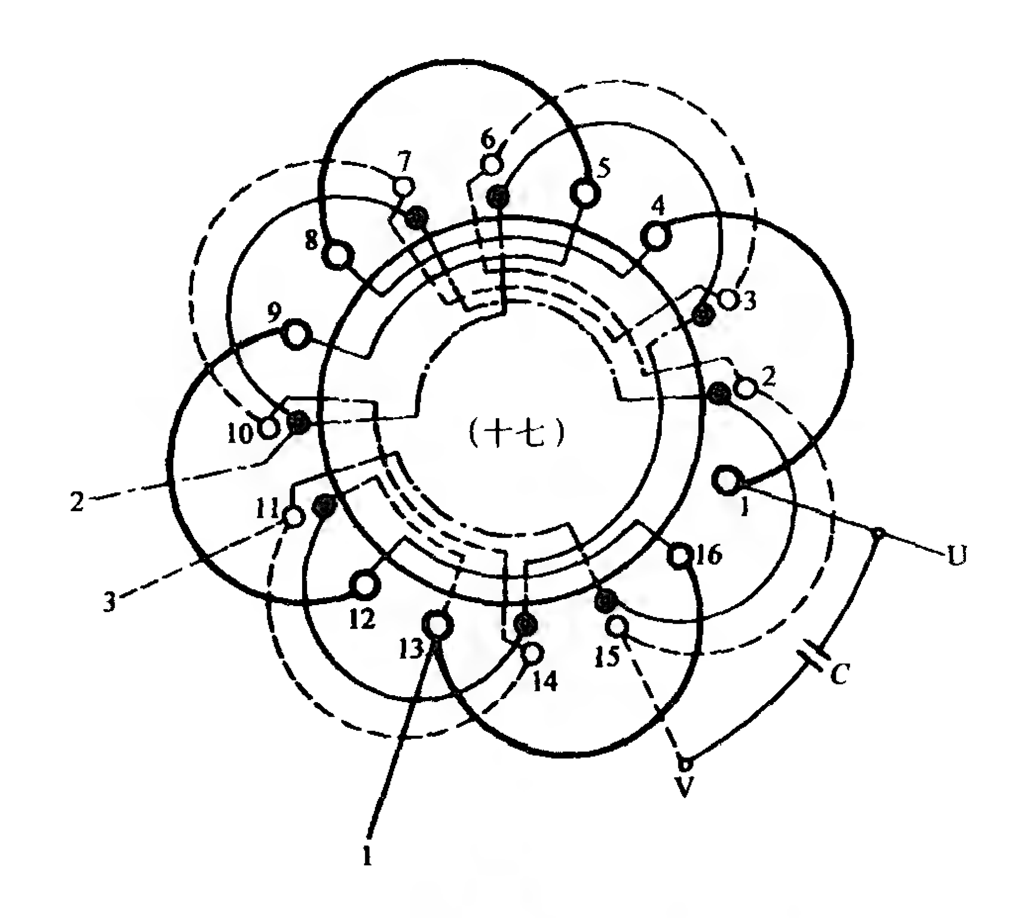


图 2-107　单相 16 槽四极电容式三速电扇
L-2 型 4-4/2-4/2 绕组布线接线图

2. 绕组布接线特点及应用

本例定子是 16 槽，采用 L-2 型布线。主绕组由 4 只单层线圈组成，相邻线圈是反极性串联。调速绕组与辅绕组同相，各有 4 只占 1/2 槽的线圈构成双层结构，绕组均是显极式接线，而且同极线圈的极性必须相同，但为使变速时能保持气隙磁场的对称平衡，换档是每两只调速线圈对称切换。本例绕组的线圈较多，接线也比上例复杂。主要应用于三速电容式电扇电动机。外部接线参考图 2-86b。

3. 绕组嵌线方法

绕组采用分层嵌线，先把主绕组嵌入单层槽，其端部处于下层平面，再把辅绕组嵌入双层槽的槽底，端部处于中层平面，最后将调速绕组置于辅绕组上面，从而形成“三平面”布线。

十八、单相 16 槽四极电容式三速电扇 T-1W 型 4/2-4-4/2 绕组布线接线图(图 2-108)

1. 结构参数

总线圈数 $Q=12$ 绕组组数 $u=4$

主相圈数 $S_U=4$ 辅相圈数 $S_V=4$

调速圈数 $S_t=2+2$ 绕组极距 $\tau=4$

线圈节距 $y=3$ 绕组系数 $K_w=0.924$

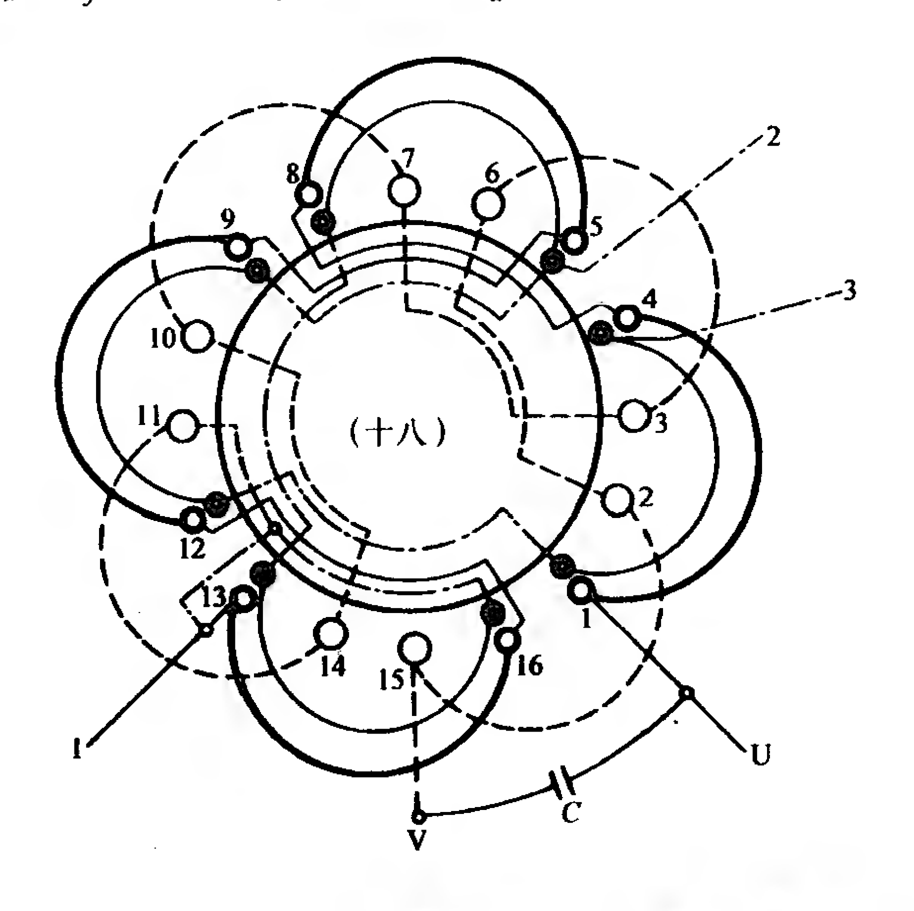


图 2-108 单相 16 槽四极电容式三速电风扇 T-1W 型 4/2-4-4/2 绕组布线接线图

2. 绕组布接线特点及应用

T 型调速绕组有多种布线型式，本例是属“1”类安排的主相外(*W*)抽头接线，故称 T-1W 型。主、辅绕组头端为图中 U、V，其尾端在内部连结后抽出“1”端，而调速绕组接在 L 形的“1”端之外，如图 2-88 所示。主绕组与调速绕组同槽，故为双层布线，但调速绕组分两组，两组对称安排，采用长跳接线，即同组极性相同，但两组极性必须相反，而且与主绕组同槽线圈的极性同极性方向。辅绕组由 4 只单层线圈组成，也是显极布接线。此绕组是众多 T 型接法中，在调速电扇有实例的一种型式。

3. 绕组嵌线方法

嵌线时先嵌主绕组，再嵌调速绕组于槽的上层，槽内及端部均要衬垫层间绝缘，整理后主、调绕组端部整体仍处同一平面；然后再把辅绕组嵌入相应槽内，形成端部上平面。

十九、单相 16 槽四极电容式三速电扇 Φ 型 4/2-4-4/2 绕组布线接线图(图 2-109)

1. 绕组结构参数

总线圈数	$Q=12$	绕组组数	$u=4$
主相圈数	$S_U=4$	辅相圈数	$S_V=4$
调速圈数	$S_t=2+2$	绕组极距	$\tau=4$
线圈节距	$y=3$	绕组系数	$K_w=0.924$

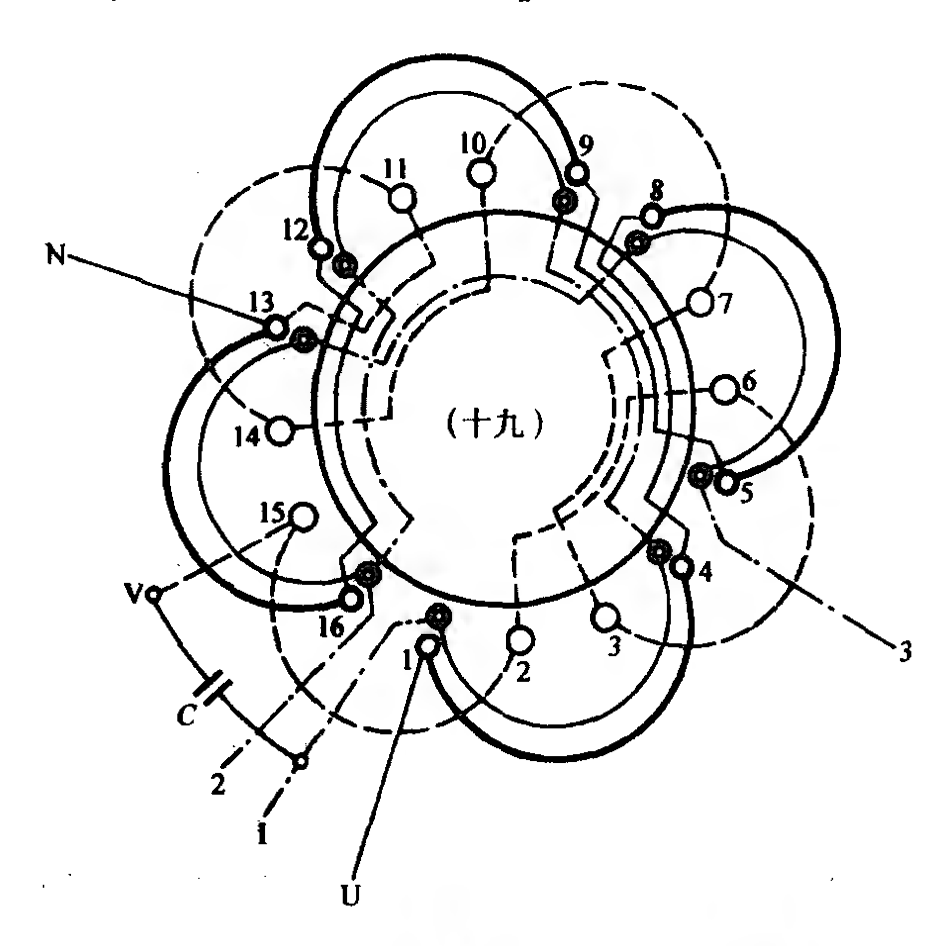


图 2-109　单相 16 槽四极电容式三速电扇 Φ 型 4/2-4-4/2 绕组布线接线图

2. 绕组布接线特点及应用

Φ 型调速电动机绕组的主、辅绕组仍按 L 形连接，而调速绕组独立引出，在电机内部不与主、辅交连，使用时则通过开关转

换与主绕组串联或并联，以改变主绕组整个回路的阻抗来获得调速，所以称之为串并联调速。其外部接线可参考图 2-90 所示。

主绕组由 4 只双层线圈按显极布线；调速绕组与主绕组同槽安排而处于槽的上层，仍是显极布线，但 4 只线圈分作两组对称分布，组内接线是顺接串联，使同组两线圈极性相同而两组极性相反，同时还要确保低速挡时，主、调线圈的电流方向一致。辅绕组由 4 只线圈按显极布线，相邻线圈极性相反。

3. 绕组嵌线方法

绕组采用分层整嵌法，先嵌主绕组于槽的下层；再把调速绕组嵌入主绕组槽的上层；辅绕组嵌入相应槽内，但其端部呈现于面层。

二十、单相 16 槽四极电容式三速电扇 h 型 4-2/2-2 (2/2)绕组布线接线图(图 2-110)

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=10$　　绕组组数　$u=5$
主相圈数　$S_U=2+2$　　辅相圈数　$S_V=2$
调速圈数　$S_t=2+2$　　绕组极距　$\tau=4$
线圈节距　$y=3$　　绕组系数　$K_w=0.924$

2. 绕组布接线特点及应用

本例为 16 槽定子，采用 h 型接线，其接线型式见图 2-89。主绕组由 4 只单层整槽的线圈组成，对称的两只同极性线圈组分别串联后分为两段，中间抽头 0，但相邻线圈的极性必须相反。辅绕组只有两只占 1/2 槽的双层线圈，是庶极分布，采用同极性顺向串联而形成四极。调速绕组与辅绕组同相，共有 4 只线圈，其中两只是占 1/2 槽的双层线圈，与辅绕组同槽安排，另两只是整槽的单层线圈。接线也是两只对称同极性线圈串联，它与辅绕组同极线圈的极性相同；而另两只单层线圈的极性与双层线圈相反。此绕组型式应用于三速电扇，但国内目前极少应用。

3. 绕组嵌线方法

绕组采用分层对称嵌线，先把主绕组对称嵌入单层槽，端部

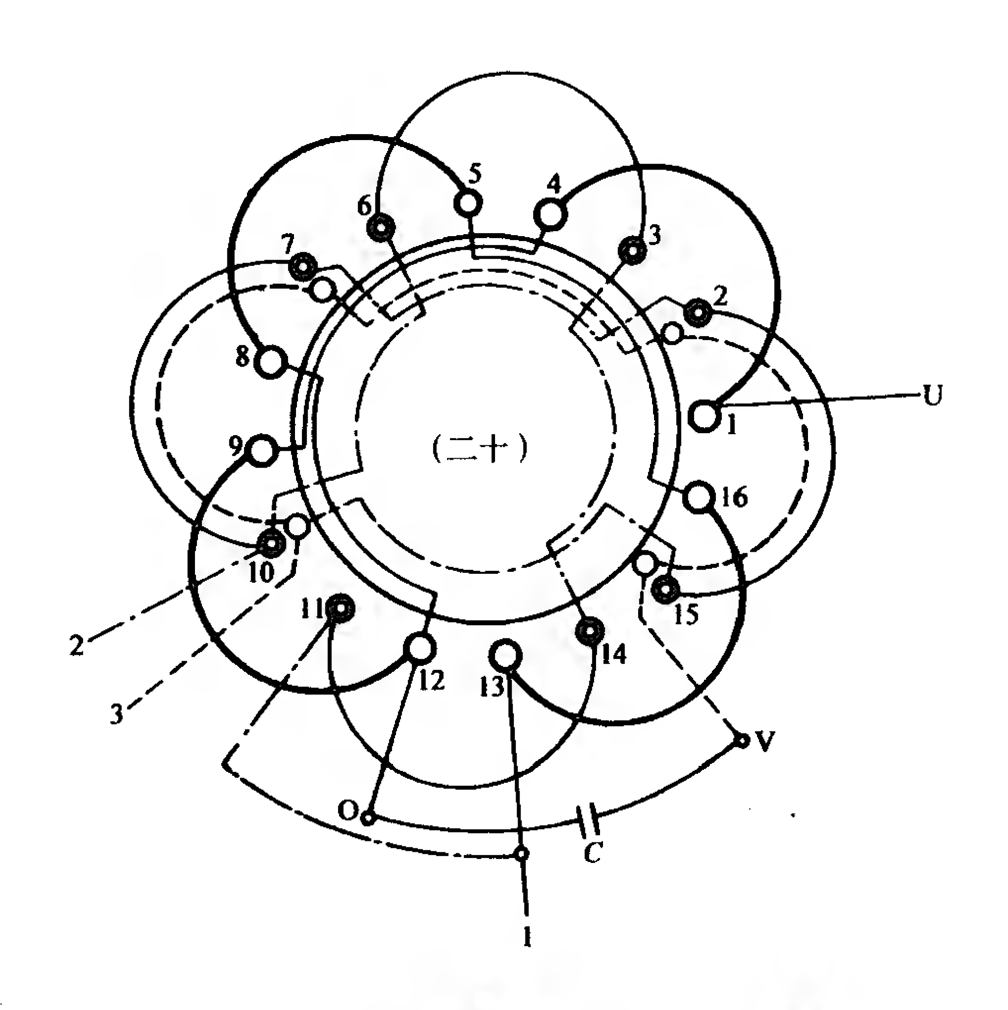


图 2-110 单相 16 槽四极电容式三速电扇
h 型 4-2/2-2 (2/2)绕组布线接线图

处于下层平面；再把调速绕组的单层槽线圈对称嵌入，然后将调速绕组的双层线圈对称嵌入相应槽的底部，端部处在中层平面；最后把辅绕组两只线圈对称嵌入槽 15、2 和槽 7、10 的面层，形成“三平面”布线。

第五节 换向器式电动机绕组

换向器式电动机包括直流电动机和交直流两用串励电动机，它有交流电动机无法相比的大起动转矩和耐过载能力；同时还具有平滑的调速特性和宽广的调速范围，所以在电力拖动中得到广泛的应用。此外，它还可以设计成可用于交流和直流电源的微电机，在与单相电动机重量和体积相等的条件下，具有输出功率大、运行转速高的特点，常用于轻便电动工具和家用电器。

一、换向器式电动机型式和绕组结构

（一）换向器式电动机的型式

直流电动机的基本型式有并励电动机、串励电动机和复励电动机，是根据励磁方式来区分的。

1. 并励电动机

并励电动机的励磁主极绕组与电枢(转子)绕组并联，故又称分励电动机，其接线如图 2-111a 所示，是一般小型直流电机的常用型式。

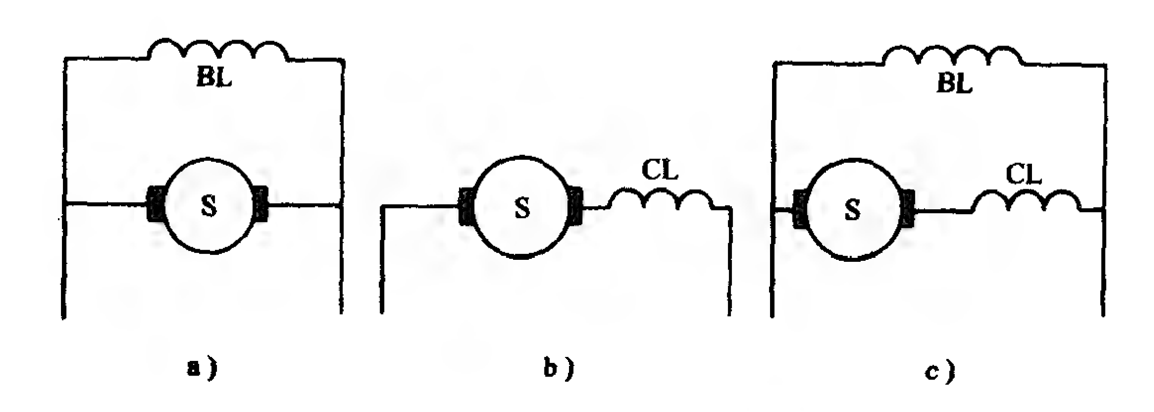


图 2-111　换向器式电动机绕组接线型式

a）并励电动机　b）串励电动机　c）复励电动机

2. 串励电动机

在电力拖动中常应用于起重、冶金和电力牵引等要求起动转矩大、过载能力强的场合。它的励磁绕组与电枢串联，故称串励电动机，接线型式如图 2-111b 所示。交直流两用的微电机均采用这种接线型式。

3. 复励电动机

复励型式是电动机主磁极同时采用串励和并励两个绕组进行励磁，接线如图 2-111c 所示。两个绕组均安放在主磁极上，根据不同的特性要求，可分为以并励为主的并串式复励电动机和以串励为主的串并式复励电动机。此外还可分两绕组同极性的和复励和反极性的差复励两种接法。但是目前生产的并励电动机为了改善性能，在主极上附设一个串联形式的稳定绕组，它的匝数只有一至数匝，不能算作复励，因其工作特性仍属并励电动机。

（二）电动机绕组结构

换向器式电动机的基本结构是定子和转子。定子机座是整个电机的支撑部件，主磁极和换向极按一定的关系对称固定在机座上。转子即电机的电枢，由铁心和电枢绕组构成，它与磁场作用实现电机的能量转换，从而产生旋转转矩并通过转子轴传递输出。下面简要介绍电机的几个主要绕组结构。

1. 主极和励磁绕组

主极是由 1～1.5mm 硅钢片叠压而成的凸形磁极，它用螺栓对称装在机座内腔。主极励磁绕组又称主极绕组，它是集中式矩形线圈，绕制好后套装在凸极上，是产生主磁场的基本部件。当绕组通过电流时，各磁极将交替呈现 N 极和 S 极性，它应使相邻主磁极的极性相反，因此，定子相邻主极线圈必须反接串联，如图 2-112a所示。容量大的电机可用并联接线，但必须保持其极性不变，如图 2-112b 所示。有的微型换向器式电动机的主磁极是用永久磁铁制成的，故没有主极绕组。

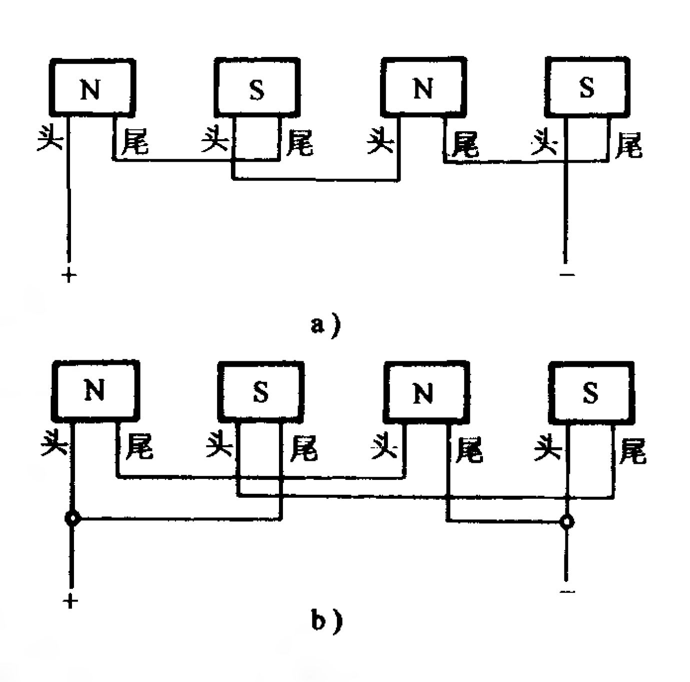


图 2-112　励磁绕组极性与接线
a）串联接线　b）并联接线

2. 换向极与换向极绕组

换向极铁心是用整块纯铁或钢片叠成体积较小的凸极，它装在两主极中间，故也称间极或附加极，是为了改善换向性能，减少换向火花而设置的。换向极绕组串联在电枢回路上，换向极的数目一般与主极相等，但小型电机中也有采用换向极数等于主极一半的庶极形式。

换向极绕组的极性不能接错，否则将会产生环火而把换向器

损坏。换向极与主极极性必须遵循一定关系，即运用于电动机时，换向极极性应与顺转向前面的主极极性相反，见图 2-113a；用作发电机则与顺转向前面的主极极性相同，如图 2-113b 所示。对于容量较小的电机，为了简化结构，一般都不设换向极。

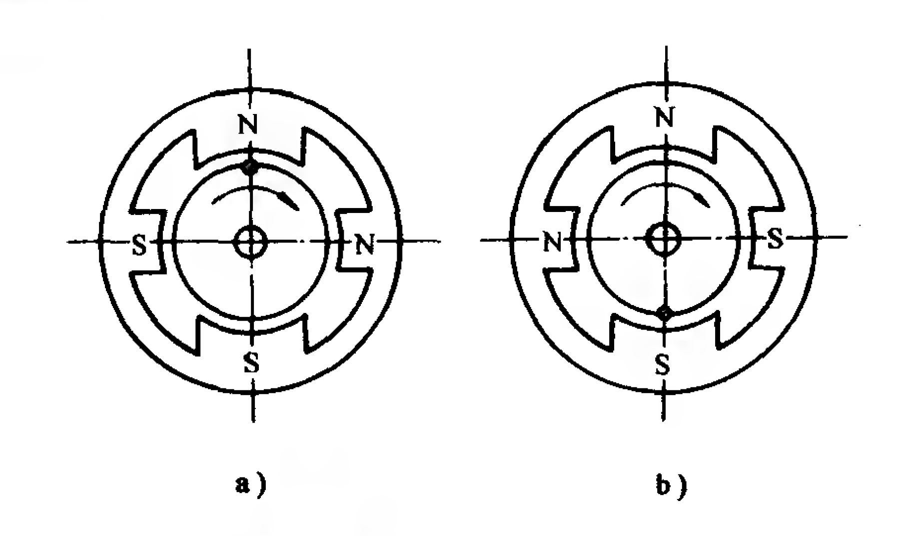


图 2-113　换向器式电机换向极与主极的极性关系
a）用作电动机　b）用作发电机

3. 补偿绕组

补偿绕组也是抑制换向火花的一种附加绕组，使用于繁重负载运行的大型直流电机。它装置在主极极靴特设的槽内，如图 2-114所示。接线方式有三种：

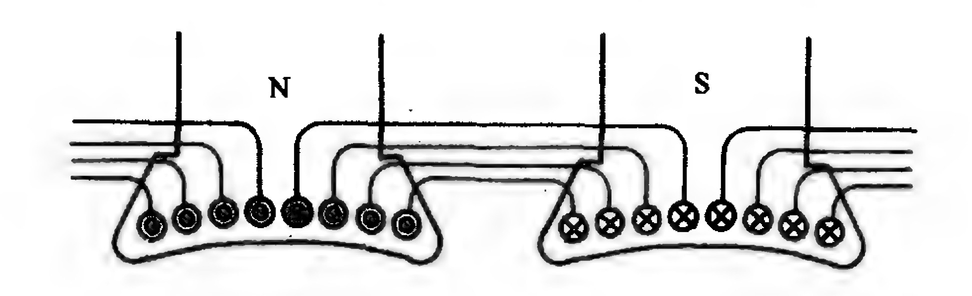


图 2-114　补偿绕组的安置展开图

1）全部补偿线圈串联后再与换向极绕组串联于电枢一端。

2）全部补偿线圈串联后，与换向极绕组分别串接在电枢两端。

3）每极补偿绕组分别与同极性的换向极逐个穿插串联。

4. 电枢绕组

换向器式电机的电枢绕组都是双层布线，并按一定规则通过换向器串联起来。小容量电动机的电枢绕组线圈一般用多匝导线绕制，大电机则用较大截面的绝缘扁铜线或铜条拉制成型；有的是先制成单元元件，分别嵌入转子槽后，再将端部连接成单匝线圈或构成电枢绕组。

电枢绕组有叠式和波式两种基本类型，根据不同的布线和接线方式则可分单叠绕组、单波绕组、复叠绕组、复波绕组和混合式绕组。电枢绕组的结构型式，较复杂，为便于叙述，下面先介绍一些专用名词和术语。

（1）元件　绕组的元件是构成电枢绕组的基本单元，一般是指接到两换向片上的一只单体线圈。一个元件可以是一匝或多匝的，但对于大型直流电枢多用一匝元件，而且是由只有一个有效边的半边线圈形状的铜杆构成，可称为半元件。

（2）线圈　电枢绕组的线圈一般是指由半槽元件有效边统包后的元件总成。因此，一个线圈可以是一个元件，也可以是多个元件组成。

（3）换向片与换向器　换向片是由加工成“燕尾”状的合金铜板制成，如图 2-115 所示。换向片之间用云母片绝缘叠装后用塑料压铸成为一整体的换向器。线圈元件的引线便压入相应的换向片接线槽内。

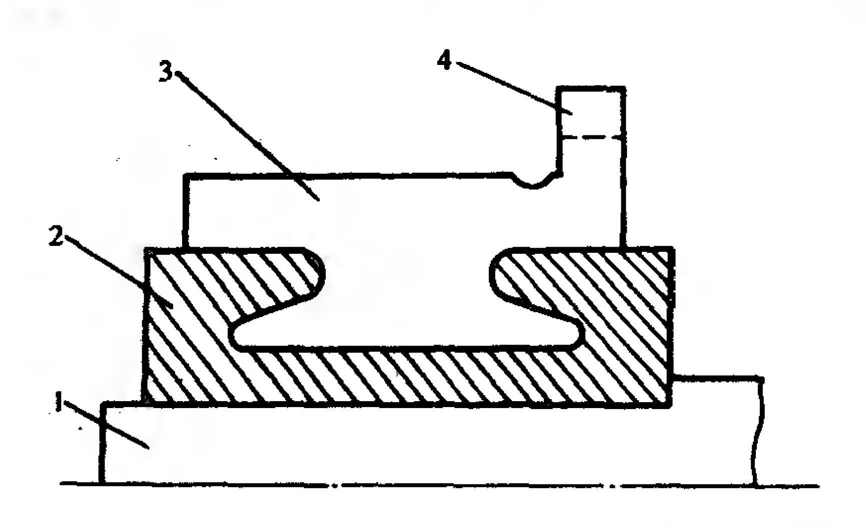


图 2-115　塑料压装式换向器

1—转子轴　2—塑料压铸套筒　3—换向片　4—换向器接线槽

(4) 极距 τ　一般是指转子铁心表面上两磁极之间的距离。有两种表示方法，计算时用弧线长度(cm)表示，即

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}$$

绕组分布时则以相距槽数(槽)表示为

$$\tau = \frac{Z}{2p}$$

式中　D——电枢转子外径，cm；

Z——转子槽数；

$2p$——绕组极数。

(5) 实槽与虚槽　实槽是指转子铁心槽，故实槽数就是转子槽数。虚槽数是虚拟的槽数，它是以绕组元件数为单位计算的，所以又称单元槽数；虚槽数等于绕组元件数。例如某电枢转子是31槽，每实槽占3个元件(即6个有效边)，则每实槽包含3个虚槽，电枢共有 $31 \times 3 = 93$ 个虚槽。

(6) 第一节距 y_1　是指一个元件两有效边之间的虚槽距离。

(7) 第二节距 y_2　是指接在同一换向片上的两元件有效边的距离，用虚槽数表示。

(8) 合成节距 y　是通过同一换向片直接相连的两个元件同名有效边(即元件1前边到元件2前边,或元件1后边到元件2后边)之间的距离。也用虚槽表示。

(9) 换向片节距 y_k　是指同一元件两引线接入两换向片间的距离。用换向片数表示。

(10) 槽节距 y_Z　是以实槽表示一个线圈两有效边所跨实际槽数的距离，它约等于电枢极距。

二、单叠绕组

(一) 绕组的连接与构成

电枢绕组线圈中的同一元件首尾端与相邻两换向片相接，且线圈有效边分置于槽的上下层，使其端部呈交叠状，故称单叠绕组。它有两种连接方式，如图2-116a的第一元件在左边，通过

换向片 2 与第二元件连接，再绕行到第一元件的右边，即元件是向右绕行的，故称右行单叠绕组。其换向片也从左向右编号。图 2-116b 则是第一元件到第二元件向左绕行的，故称左行单叠绕组。其换向片从右向左编号。

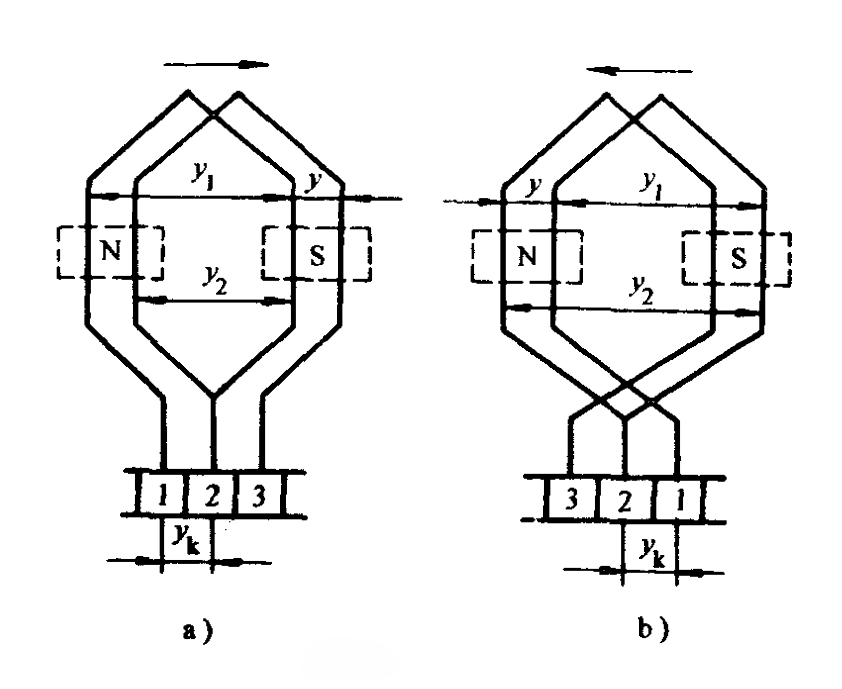


图 2-116　单叠绕组元件连接简化图

a）右行绕组　b）左行绕组

双层绕组的线圈布线，可以使左边有效边为上层，也可置于下层。因此，若面对换向器端视，元件上层在左侧称左手线圈；上层在右侧称右手线圈，但是它们都可构成左行或右行绕组。由图可见，左行绕组在换向器端的接线交叉重叠，绝缘处理困难，而且较费铜线，故一般电枢都采用右行绕组。

（二）单叠绕组的结构特征

1. 换向片节距

单叠绕组一个元件两引线必定是接在相邻两换向片上，即其换向片节距(片)

$$y_k = \pm 1$$

采用“+”值时为右行绕组；用“-”值是左行绕组。

2. 合成节距

单叠绕组合成节距等于换向片节距数(槽)，即

$$y = \pm 1$$

采用右行绕组取“+”值，左行取“-”值。

3. 第一节距

电枢绕组第一节距是元件两有效边的跨距，它必须为整数。

$$y_1 = \frac{Z_0}{2p} \mp \varepsilon = \text{整数}$$

式中　Z_0——电枢虚槽数，$Z_0 = Zu$，槽；

u——绕组元件数；

ε——使节距凑整和调整布线结构的一个从 0～1 的数。

此外，式中符号取“-”，节距小于极距；取“+”则长于极距。

4. 第二节距(槽)

$$y_2 = y_1 - y$$

计算时 y 值的符号带入式中。

5. 槽节距(槽)

$$y_Z = \frac{Z}{2p} \mp \varepsilon_Z = \text{整数}$$

实用上为了缩短线圈端部以节省铜线，一般都取符号为“-”值计算，使之构成短距绕组；也有个别电机取 ε_Z 值为零构成整距绕组的。

对于交直流两用的换向器式电动机，只采用短距绕组(槽)，因此若 Z = 偶数时，取 $\varepsilon_Z = 1$ 计算，即

$$y_Z = \frac{Z}{2p} - 1$$

6. 单叠绕组并联支路数

$$2a = 2p$$

(三) 检验

1) 单叠绕组必须满足对称条件

$$\frac{Z}{p} = \text{整数};\quad \frac{K}{p} = \text{整数}$$

2) 一般中小型电枢应采用同槽式布线(即同一线圈有效边中

的所有元件同置于一槽的同一层次)，并满足下面条件

$$\frac{y_1}{u} = y_Z = 整数$$

如不能满足，应改选 ε 和 ε_Z 的符号重算，但这时可能会构成左行绕组。

3）考虑减少电刷火花，改善换向条件，计算的 Z/p 值和 K/p 值最好为奇数。

（四）绕组连接和布线

绕组的布线和连接一般是用绕组展开图表达，但它的绘制繁琐，对修理来说也不够直观。为此，本书采用局部表达绕组连接关系的元件展开图，来说明元件的分布和接线关系，再以实槽为单位画出的一只线圈实用简化布接线图，根据此图便可进行嵌线和接线。

1. 单叠绕组元件连接简化图

1）计算以虚槽为单位的绕组参数；

2）确定绕组布线方案，选择内容包括线圈形式、绕行方向等；

3）画出相邻两元件连接及布线关系的简化图，并标示节距。

2. 绕组实用简化布线接线图

1）计算以实槽为单位的槽节距；

2）画出一个线圈跨距两槽有效边，标注槽号及连结后端部；

3）在线圈前端部(正下方)画出等宽的换向片($u+3$)个；

4）画出每槽线圈全部元件与换向器的连接，而且将接入换向器的引线用不同线段表示。

为了便于读者掌握作图，下面举例说明。

【例 2-7】 某直流电动机，电枢槽数 $Z=15$，每槽元件数 $u=3$，极数 $2p=2$，换向片数 $K=30$，试画出元件、线圈布接线情况。

1. 计算绕组参数

(1) 计算电枢虚槽数

$$Z_0 = Zu = 15 \times 2 = 30 \text{ 槽}$$

（2）换向片节距　选右行绕组则

$$y_K = 1 \text{ 片}$$

（3）合成节距

$$y = 1 \text{ 槽}$$

（4）第一节距　选用短距绕组

$$y_1 = \frac{Z_0}{2p} - \varepsilon = \frac{30}{2} - 1 = 14 \text{ 槽}$$

（5）第二节距

$$y_2 = y_1 - y = 14 - 1 = 13 \text{ 槽}$$

（6）实槽节距

$$y_Z = \frac{Z}{2p} - \varepsilon_Z = \frac{15}{2} - \frac{1}{2} = 7 \text{ 槽} \quad (1-8 \text{ 槽})$$

2. 检验

（1）对称条件

$$\frac{Z}{p} = \frac{15}{1} = 15 = \text{整数}$$

$$\frac{K}{p} = \frac{30}{1} = 30 = \text{整数}$$

（2）同槽布线条件

$$\frac{y_1}{u} = \frac{14}{2} = 7 = y_Z = \text{整数}$$

（3）改善换向条件　从(1)项计算中可知 Z/p = 奇数，K/p ≠奇数。

由检验可知，绕组能满足对称和同槽布线条件，可构成单叠绕组，但换向条件不够理想。

3. 画出元件连接简化图

为了分析元件间的关系和连接情况，参照图 2-116a 右行形式，画出两个相连元件分布和连接情况，如图 2-117 所示。

4. 画出绕组实用简化布接线图

1）画出一个线圈的两个有效边，并根据 $y_Z = 7$ 标注有效边

槽号为1与8；

2）连结两有效边的后端部；

3）在前端正下方画出（$u+3=$）5个相连的换向片，编号从左至右，第1片编号为K（本例$K=30$），接下来从1号顺编；

4）画出元件引接线，因$u=2$，用两根不同的线段代表2个元件引线（如本例用细实线代表1号元件，虚线为2号元件），分别接入换向片1、2号；从8号槽来的1号元件引线尾（实线）接入相邻的2号换向片，2号元件尾（虚线）则接到片3。画出单叠绕组实用简化布接线如图2-118所示。

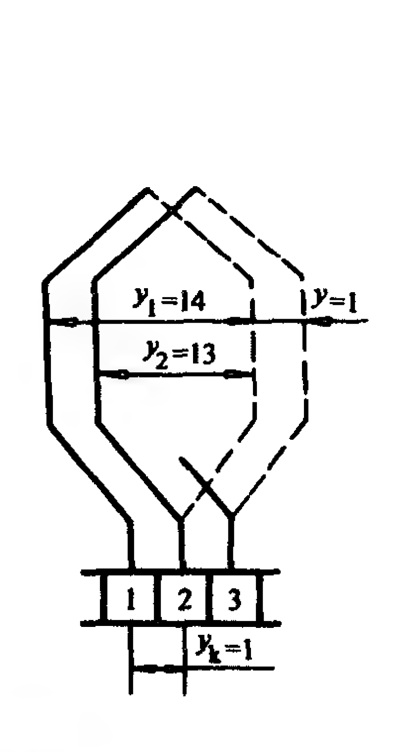


图2-117 【例2-7】右行绕组元件连接简化图

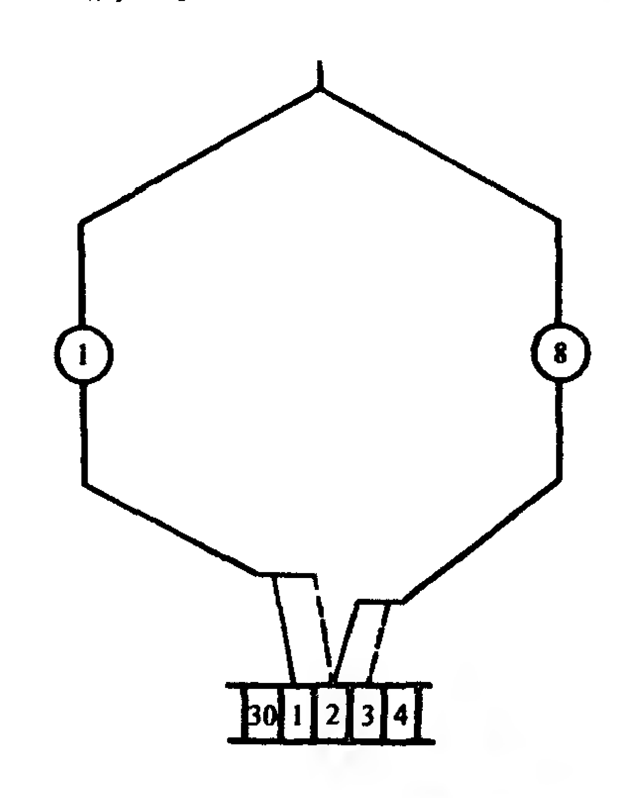


图2-118 【例2-7】的单叠绕组实用简化布接线图

根据上述原理，可将线圈2—9（图中未画出）的1号元件头接入片3，尾端接片4；2号元件头端接片4，尾端接片5。如此类推，便可完成电枢绕组的布线。

（五）绕组的特点与应用

1）单叠绕组的并联支路数等于极数，而极数多则并联路数多而串联匝数少，宜用于大电流、低电压的电枢。所以大容量的

直流电机和低电压的内燃机用电机都采用单叠绕组。

2）若直流电机设计为二极时，其它型式绕组无法满足构成条件，所以二极电机一律采用单叠绕组。

此外，单叠绕组的并联型式是复叠绕组，在大型的直流电机中曾有应用，但国内产品中从未形成系列且极少应用，已处于被淘汰的趋势，故不作介绍。

三、单波绕组

（一）绕组的连接与构成

电枢绕组一个元件的首尾两端不是接到相邻换向片，而是接在相距约两倍于极距的换向片上，并且相邻连接的两元件不重叠而构成波浪形绕行的绕组称为波绕组。但是，当绕组的元件绕行换向器一周(即绕行 p 个元件)后，将回到与首端换向片相邻的片上，如图 2-119 所示，这种波绕组则是单波绕组；它属于串联式绕组，支路数与极数无关，绕组的支路对数等于 1。

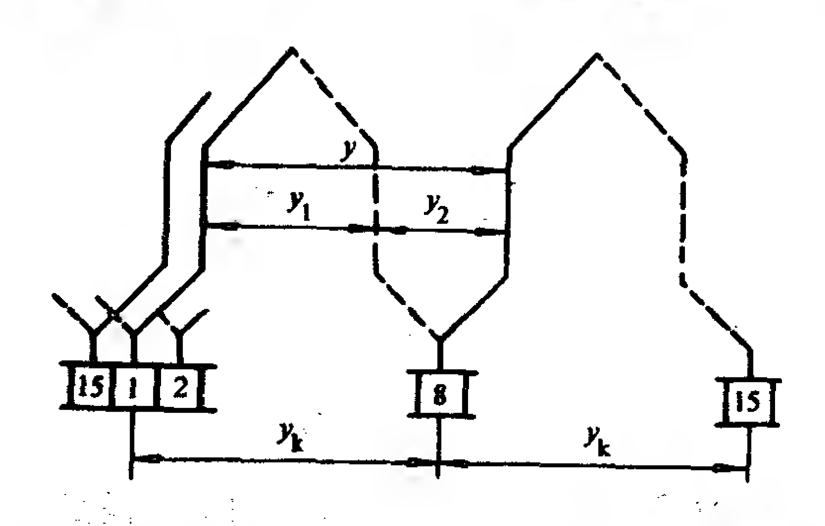


图 2-119　单波绕组元件绕行一周的展开图

（二）绕组的结构特征

1）为使电枢所有元件串入电路，单波绕组的换向片数必须是奇数。因此，构成单波绕组的实槽数和每槽元件数都必须为奇数。

2）换向片节距 y_k

$$y_k = \frac{K \mp 1}{p} = 整数$$

式中　K——换向片数；

　　p——磁极对数。

式中的正、负号的选择是为了满足 y_k 值凑成整数而设。取负号时，元件绕行一周后回到起始元件的左边，尾端也接到起始换向片 1 的左边(15)，称为左行绕组；取正号时则回到右边，尾端也将接到右边的换向片 2，称为右行绕组。

3）合成节距 y　单波绕组的合成节距数值等于换向片节距，但单位是虚槽数。即

$$y = y_k(\text{槽})$$

4）第一节距 y_1

$$y_1 = \frac{Z_0}{2p} \mp \varepsilon = \text{整数}$$

式中　Z_0——电枢绕组虚槽数，$Z_0 = Zu = K_0$

5）第二节距 y_2

$$y_2 = y - y_1$$

6）槽节距

$$y_Z = \frac{Z}{2p} \mp \varepsilon_z = \text{整数}$$

(三) 检验

1）单波绕组必须满足构成条件

$$\frac{K}{Z} = u = \text{整数}$$

2）如无特殊要求而采用同槽式布线时必须满足

$$\frac{y_1}{u} = y_z = \text{整数}$$

如不能满足，则应改变 ε 和 ε_z 值的符号，改变 y_1 和 y_2 值使其满足上式。

(四) 绕组的连接和布线

单波绕组的连接和布线情况也可画出元件连接展开图表示。根据绕组修理需要，则绘制单波绕组实用布接线简化图。下面举例说明。

【例 2-8】 有一直流电枢，槽数 $Z=47$，极数 $2p=4$，每槽元件数 $u=3$，换向片数 $K=141$，试求单波绕组布接线情况。

1. 计算绕组基本参数

(1) 电枢绕组虚槽数

$$Z_0 = Zu = 47 \times 3 = 141 \text{ 槽}$$

(2) 换向片节距

$$y_K = \frac{K-1}{p} = \frac{141-1}{2} = 70 \text{ 槽}(1-71 \text{ 槽})$$

(3) 合成节距

$$y = y_k = 70 \text{ 槽}$$

(4) 第一节距

选用短节距的左行绕组不能满足同槽布线条件，故改选右行绕组，则

$$y_1 = \frac{Z_0}{2p} + \varepsilon = \frac{141}{4} + \frac{3}{4} = 36 \text{ 槽}$$

(5) 第二节距

$$y_2 = y - y_1 = 70 - 36 = 34 \text{ 槽}$$

(6) 槽节距

$$y_Z = \frac{Z}{2p} + \varepsilon_Z = \frac{47}{4} + \frac{1}{4} = 12\ (1-13)\text{槽}$$

(7) 并联支路数

$$2a = 2$$

2. 检验绕组构成条件

(1) 单波绕组构成条件

$$\frac{K}{Z} = \frac{141}{47} = 3 = \text{整数}$$

(2) 同槽式布线条件

$$\frac{y_1}{u} = \frac{36}{3} = 12 = y_Z = \text{整数}$$

检验说明绕组参数可构成同槽式布线的单波绕组。

3. 画出单波绕组元件连接简化图

1）参照图 2-119 的形式画出绕行一周（$p=2$ 个）波形元件及所连接的换向片，如图 2-120 所示；

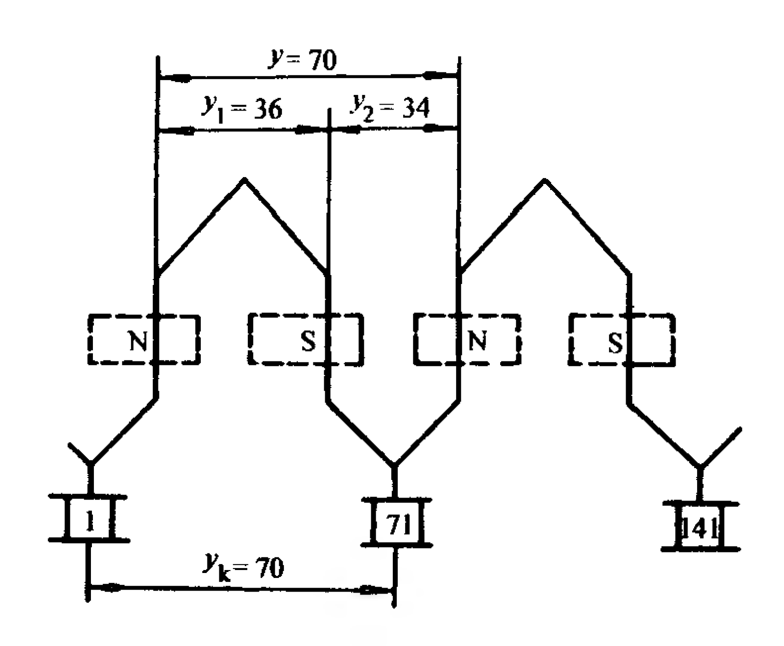


图 2-120 【例 2-8】的单波绕组元件连接简化图

2）在图中标示第一节距、第二节距和合成节距的值；

3）将起始换向片编号为 1，则此元件尾端编号为（$1+y_k=71$）；第二元件首端接入片 71，则尾端编号为 $71+y_k=141$，即与起始换向片相邻，符合单波绕组的构成特征；

4. 画出单波绕组实用简化布接线图

根据槽节距 $y_Z=1-13$，每槽元件数 $u=3$，换向片节距 $y_k=1-71$，画出简化图如图 2-121 所示。

（五）绕组的特点与应用

1）单波绕组支路数与极数无关，只有一对支路，故绕组的串联匝数多，一般适用于较高正常电压的中、小型直流电机；

2）单波绕组常选用左行绕组，这时元件在换向器端没有交叉，端接引线较短而节约铜线；但有时为了简化绕制工艺而满足同槽式布线，则不得不采用端接引线交叉的右行绕组。

3）单波绕组只能应用于四极及以上极数的电动机，它无法构成二极绕组。

此外，单波绕组的并联形式是复波绕组，只在大型电机中有

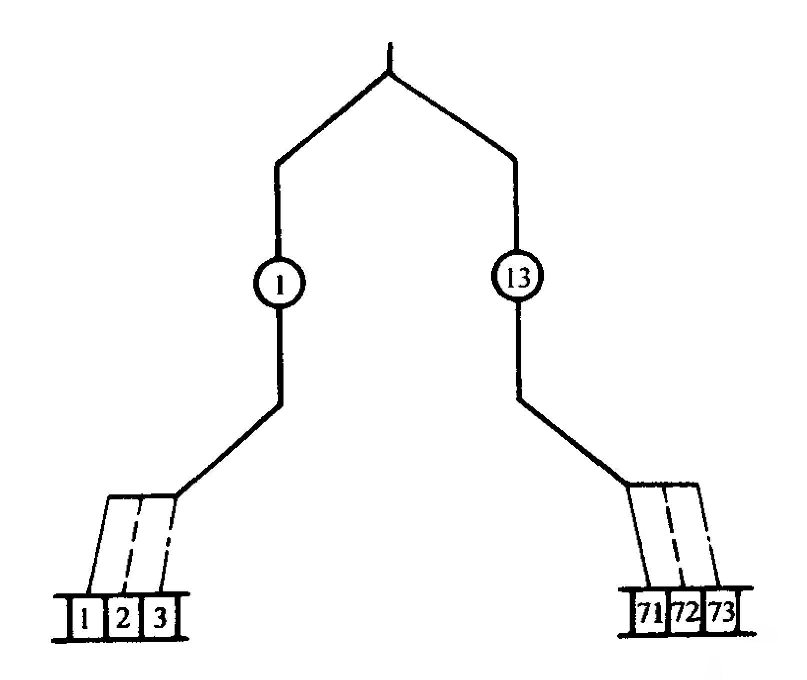


图 2-121 【例 2-8】的单波绕组实用简化布接线图

过应用，目前已不多见，故不作介绍。

四、死波绕组

（一）绕组的连接与构成

死波绕组是单波绕组的特殊型式，它有不与换向器连接的死元件(又称假元件)的单波绕组。例如，某电枢槽数 $Z=27$，若每槽元件数 $u=4$，总元件数 $S=Z_0=Zu=108$，而按电枢结构一般规律是 $K=S$，然而 $K=$ 偶数不能构成单波绕组。因此必须取 $K=107$(奇数)来满足构成条件，这样便余下一个元件没有换向片可接而成为死元件。

死波绕组的连接和构成与单波绕组是一样的，不同的是死波绕组的单元件(虚槽)数多于换向片数，所以嵌接完成之后将余下一个元件，而实用上也只应用一个死元件的死波绕组。

（二）绕组的结构特征

1）构成死波绕组的实槽数与每槽元件数的乘积必须是偶数；但换向片数则必须为奇数且小于单元槽数 1。

2）构成死波绕组必须满足每槽元件数 $u\geqslant 2$。

3）死波绕组各参数有如下关系：

$$K=S'=Z_0-1=Zu-1$$

式中　K——换向片数；

S'——绕组有效元件数。

其余参数与单波绕组相同。

(三) 检验

1) 死波绕组必须满足构成条件

$$u=\frac{K+1}{Z}=\text{整数}$$

2) 同槽安排条件

$$y_Z=\frac{y_1}{u}=\text{整数}$$

(四) 绕组的连接和布线

死波绕组元件连接简化图和实用布接线图的画法基本同单波绕组，但死元件要在图中画出，考虑布接线的方便，一般宜把带有死元件的线圈编号在最后，而且把死元件也放在线圈中的最后一个元件。下面举例说明。

【例 2-9】 某内燃机用直流发电机，电枢槽数 $Z=21$，极数 $2p=4$，每槽元件数 $u=2$，换向片数 $K=41$，试做绕组布接线图。

1. 计算绕组参数

(1) 电枢绕组虚槽数

$$Z_0=Zu=21\times2=42\ \text{槽}$$

因 $S=Z_0$，$K\neq S$，而 $K=S'=Z_0-1$，故是死波绕组。

(2) 换向片节距

$$y_K=\frac{K-1}{p}=\frac{41-1}{2}=20\ (1-21)\text{片}$$

(3) 合成节距

$$y=y_k=20\ \text{槽}$$

(4) 第一节距

$$y_1=\frac{Z_0}{2p}-\varepsilon=\frac{42}{4}-\frac{1}{2}=10\ \text{槽}$$

(5) 第二节距

$$y_2 = y - y_1 = 20 - 10 = 10 \text{ 槽}$$

(6) 槽节距

$$y_Z = \frac{Z}{2p} - \varepsilon_Z = \frac{21}{4} - \frac{1}{4} = 5 \text{ 槽}(1 - 6 \text{ 槽})$$

2. 检验

(1) 死波绕组构成条件

$$u = \frac{K+1}{Z} = \frac{41+1}{21} = 2 = \text{整数}$$

(2) 同槽式安排条件

$$y_Z = \frac{y_1}{u} = \frac{10}{2} = 5 = \text{整数}$$

构成同槽式死波绕组条件成立。

3. 画出死波绕组元件连接简化图(图 2-122)

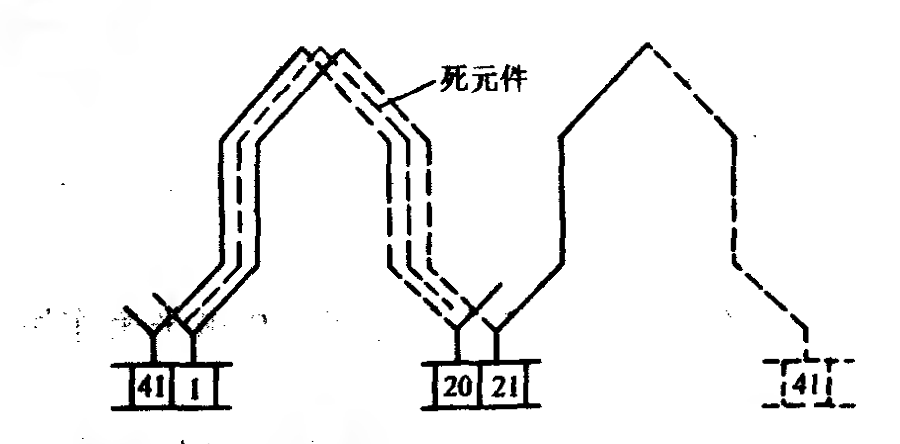


图 2-122 【例 2-9】的死波绕组元件连接简化图

1) 参照单波绕组画出从 1 号换向片绕行一周的元件连接图，并标注各节距数据及换向片号；

2) 画出后退一片(41 号)换向片及与之连接的元件；

3) 因死元件与接 41 号片的元件同属一线圈，但它不与换向片相接，故在两有效元件之间画出死元件如图 2-123 所示。

4. 画出死波绕组实用简化布接线图

1) 根据实槽数参照单波绕组画出一个线圈的布接线图；

2) 画出退后一槽的线圈，并在原换向片左侧增加($u-1$)个换向片(本例 $u=2$,故只增画一个换向片)；

3）因此线圈包含一个死元件，故与线圈并列画出一个不与换向片相接的死元件，如图 2-123 所示。

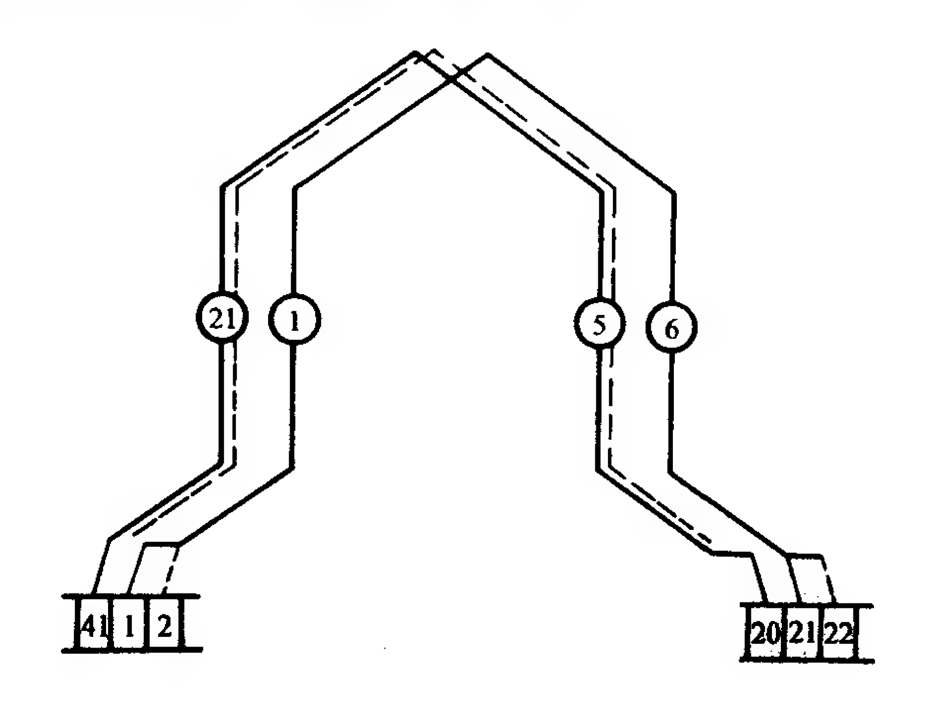


图 2-123 【例 2-9】的死波绕组实用简化布接线图

（五）绕组的特点与应用

1）死波绕组能利用单波绕组所不能采用的偶数槽转子铁心，从而扩展了应用范围并节省铁心冲模。

2）死元件虽不与电路交连，但它起着机械平衡作用，故不得随意弃去。

3）死波绕组一般用于容量不超过 50kW 的四极电机中，常应用于牵引电动机、冶金起重型电动机及汽车、拖拉机用电机等。

第三章　变极电动机绕组

三相异步电动机具有构造简单、结构坚固、造价低廉及使用维护方便等优点，从而在企业生产中得到广泛的应用。变极电动机是三相异步电动机的特殊机型，它是利用一套特殊设计的绕组，通过外部接线以改变绕组的极数来达到变速的目的。

第一节　变极绕组与变极原理

一、变极绕组特征

1）变极绕组一般均采用双层叠绕组；

2）绕组的每相线圈组数可以不相等，每组线圈数也可以不等，但三相线圈总数必须相等；

3）变极时总有一半线圈的电动势极性要改变方向；

4）绕组变极时常应用庶极式绕组；

5）变极绕组采用的线圈节距不局限于短距绕组，变极时常会成为整距或长距绕组；

6）每相绕组都有分段，并抽出引接线端，故一台变极电机至少有六根引线，多时可达 25 根。

二、变速方法与变速电动机特性

（1）异步电动机改变转速的方法与特点　异步电动机的运行速度是比较稳定的，其转速略低于磁场转速，亦称同步转速 n_c，它由下式确定，即

$$n_c = \frac{60f}{p}$$

式中　n_c——异步电动机旋转磁场转速，r/min；

f——电动机电源频率，Hz；

p——电动机绕组磁极对数。

由式可知，改变电动机转速有两种方法：

1）改变电源频率　变频调速方法可以获得平滑的无级调速，常用于机床及其他自动控制设备。它需要一套变频控制设备，其成本较高，使用时要求维修人员技术品位高，一般只在对转速有特殊要求的场合采用。

2）改变电动机定子绕组极数　此调速方法比较简单有效，但绕组的极对数 p 只能是整数，故调速只能是约每分钟3000转(二极)、1500转(四极)、1000转(六极)等分级变化。但比起其它调速方式简单易行，且对许多场合下能满足变速使用的要求，并且保留了异步电动机的一系列优点，所以得到广泛应用。

(2) 改变绕组极数的型式与特点

1）定子槽内嵌放两套独立的单速绕组　此型式在早年的双速电动机中曾采用，它的铁心利用率低，功率小而成本高，目前已被淘汰。

2）定子内放置一套变极多速绕组　这就是目前应用最多的单绕组多速电动机，它可以是双速、三速甚至四速的调速，其速度变化可以是倍极比或非倍极比变速。它较之其他变速型式具有用铜量省、经济性好等特点。

3）定子内放置一套双速变极绕组和一套独立的单速绕组　这种型式一般应用于三速电动机。由于单绕组三速电动机很难同时满足三种转速下的特性要求，因此就采用这种双绕组三速型式。

4）定子内安置两套双速绕组

因为四速电动机更难以满足所有转速下的运行特性，所以四速电动机产品多采用这种型式。但也有采用三速和单速配套的。

(3) 双速变极电动机的特性　双速电动机是通过定子绕组的极数改变来实现变速的，因笼型转子具有适应任何极数下运行的

特点，所以目前的变极电动机均是笼型转子。

随着转速改变。电动机运行特性也改变，因此，变极电动机满足生产机械运行特性的要求是先决条件。

1）电动机功率与转速的关系　电动机输出功率与转速有如下关系：

$$P = \frac{2\pi T}{60} n$$

式中　P——电动机输出功率；

T——额定转矩；

n——电动机每分钟转数。

当转矩不变时，电动机输出功率随转速成正比变化。这是选用或改制时必须满足的条件之一。

2）电动机转矩与转速的关系

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

若保持功率不变时，变速后的转矩与转速成反比关系。

3）变极电动机改绕时的特性选择　由上式可见，变极电动机转速改变时将会引起功率和转矩的变化。因此，改绕双速电动机时有三种特性可供选择：

① 等功率变极。它是指电动机在不同转速下的输出功率不变，但高转速时输出的转矩小；反之，转矩大。

② 等转矩变极。它是指电动机在不同转速下的输出转矩相等，但输出功率则与转速成反比。

③ 可变转矩变极。它是介于前两者之间的特性变化，即电动机变极时，转矩和功率都作相应的变化。

然而，变速电动机的工作特性是通过绕组的接线来实现的，因此，为了得到预期的改绕效果，可以在改制时选择相适应的接法。表 3-1 和表 3-2 是单绕组倍极比和非倍极比双速电动机的工作特性，例如，要求两种极数下的转矩接近时可采用 2 Y/Y 接法；两种极数下要求功率接近的可采用 2 Y/△接法。

表 3-1　单绕组倍极比双速电动机工作特性

方　案	变 极 接 法		功率比	转矩比	工作特性
	倍极数Ⅰ	倍极数Ⅱ	$P_{Ⅱ}/P_{Ⅰ}$	$M_{Ⅱ}/M_{Ⅰ}$	
1	2Y	2Y	1	2	等功
2	2Y	Y	0.5	1	等矩
3	2Y	△	0.866	1.73	变矩
4	2△	Y	0.288	0.57	变矩
5	△	2Y	1.15	2.3	变矩

表 3-2　单绕组非倍极比双速电动机工作特性

方　案	变 极 接 法		功率比	工作特性
	少极数Ⅰ	多极数Ⅱ	$P_{Ⅱ}/P_{Ⅰ}$	
1	2Y	2Y	1	等功
2	2Y	Y	0.5	变矩
3	2Y	△	0.866	变矩
4	2△	Y	0.288	变矩
5	△	2Y	1.15	变矩

三、绕组变极原理

单绕组双速电动机绕组变极的方法是反向法，即使是其他(如换相变极、双节距变极)方法，还是要结合必要的改变槽电流方向来改变绕组极数。因此，反向法是绕组变极的基本方法。

1. 倍极比反向变极原理

反向变极法简称反向法，它是通过改变一半线圈的电流极性(方向)来构成相应的绕组磁场，从而达到变极的目的。反向变极原理如图 3-1 所示，图 a 是普通二极电动机的一相绕组示意，当电流通过的某瞬间，各线圈边感生的磁场极性由右手螺旋定则确定，图中“⊗”符号表示磁力线进入纸面；“⊙”表示磁力线从纸面穿出。这时，不同源的异性磁场将被抵消，而同性磁场则更

趋增强，从而形成图 a 中的 S、N 两极。如果将其中一半线圈的电流反向，如改变接线使第 2 只线圈电流反向，便如图 b 所示，形成 4 个增强的磁极，从而使原二极绕组变成四极。这就是反向变极原理。

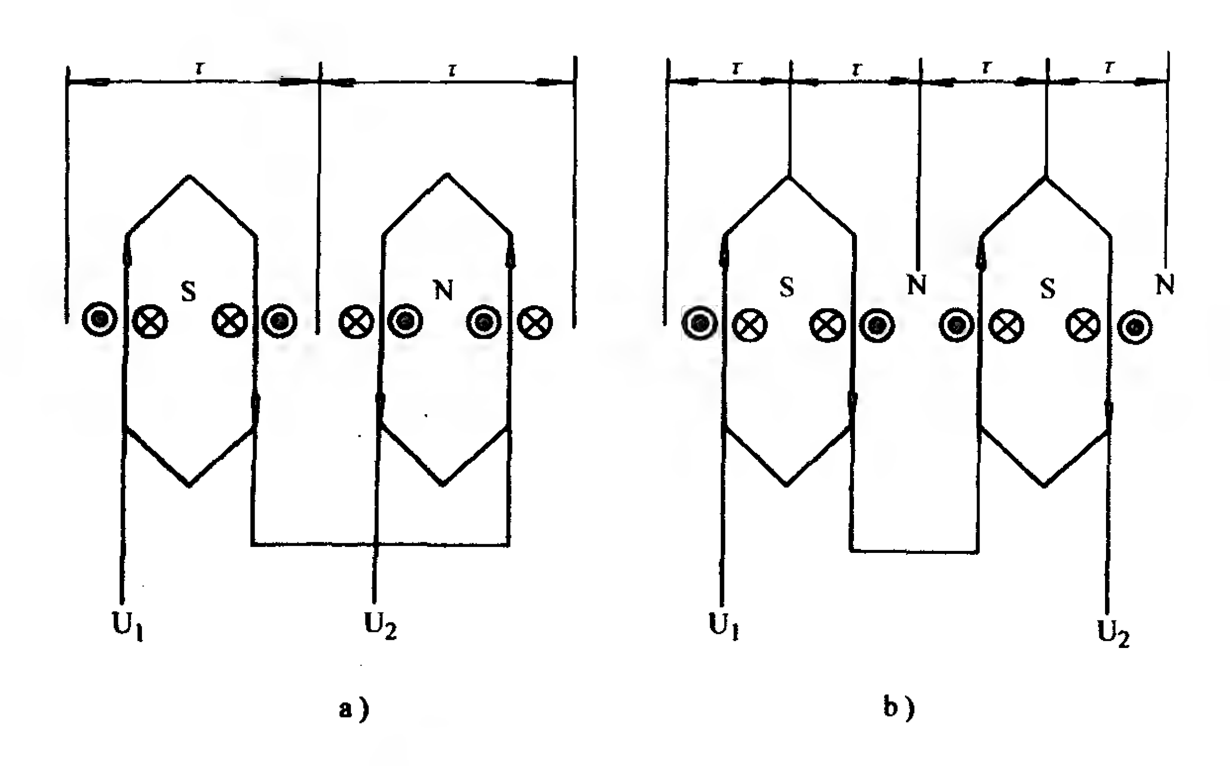


图 3-1 反向法变极原理

a) 二极 b) 四极

2. 倍极比双速绕组

图 3-1a 可见，在一相二(组)线圈中，其接线是反接串联，即二线圈的极性是相反的，绕组呈现显极特征；而图 b 则二线圈极性相同，绕组则是庶极特征。由此可见，倍极比双速电动机在高速时为显极的 60°相带绕组；低速时是庶极的 120°相带绕组。通常将这种变极绕组称为正规分布绕组。

由上可见，绕组磁极的形成取决于绕组中线圈有效边在槽中的电流方向，因此，同理可直接由绕组的电流极性来确定绕组的磁场极性，进而确定绕组形成的极数。下面就通过绕组在槽中的电流极性来演示双速绕组的变极。

图 3-2 是 12 槽 4/2 极双速绕组布线及一相接线图。以 W 相为例，从图 a 可见它是庶极接法，即同相相邻两线圈但是顺接串

联的，假设电流从 4W 进入，从 W_0 流出，则 W 相两组线圈在定子槽中的电流便可显示出对称并交替分布的 4 组电流极性，从而确定此时绕组为 4 极。若将电流改由 2W 进入，电流将分两支路而从 4W 和 W_0 流出，如图 b 所示。这时定子 W 相绕组就显现略为分散的 2 极。由于此属正规分布的倍极比变极，其余二相与此相同，这里就不作分解了。而典型范例中的倍极比变极绕组均采用此法变极。

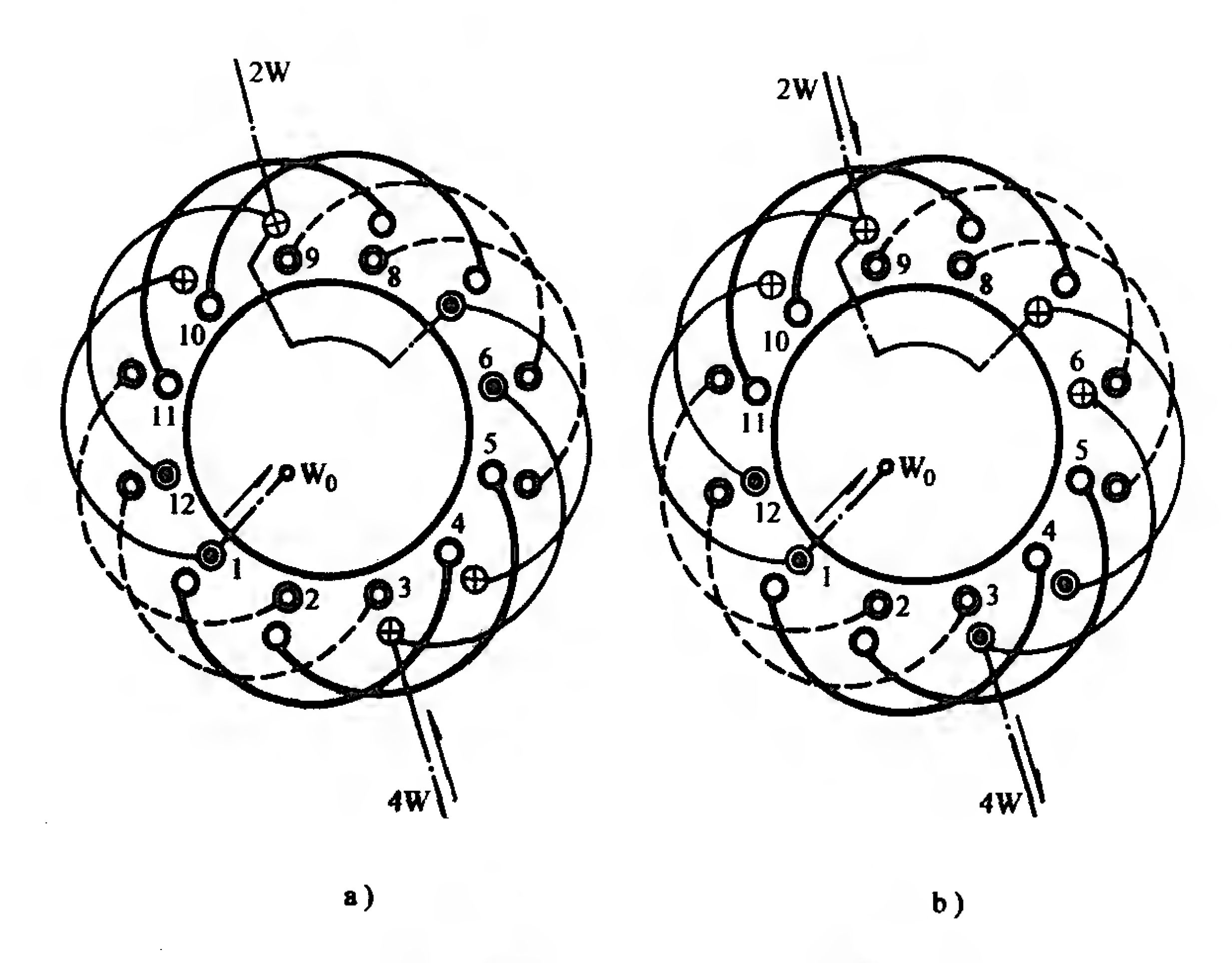


图 3-2　12 槽 4/2 极绕组一相变极示意图

a）四极（庶极）绕组　b）二极绕组

3. 非倍极比双速绕组

非倍极比系指 6/4 极、8/6 极等双速电动机绕组，其变极方法基本与倍极比反向变极相同。例如图 3-3a 是二路并联 4 极接线的一相绕组，设电流从 U_1 进入，分两路流经各线圈所感生磁场的极性，如图中小圆表示，若将紧邻的不同源（线圈）的异性磁场互相抵消后，此绕组所显示为 4 极。若把接线改为一路串联，

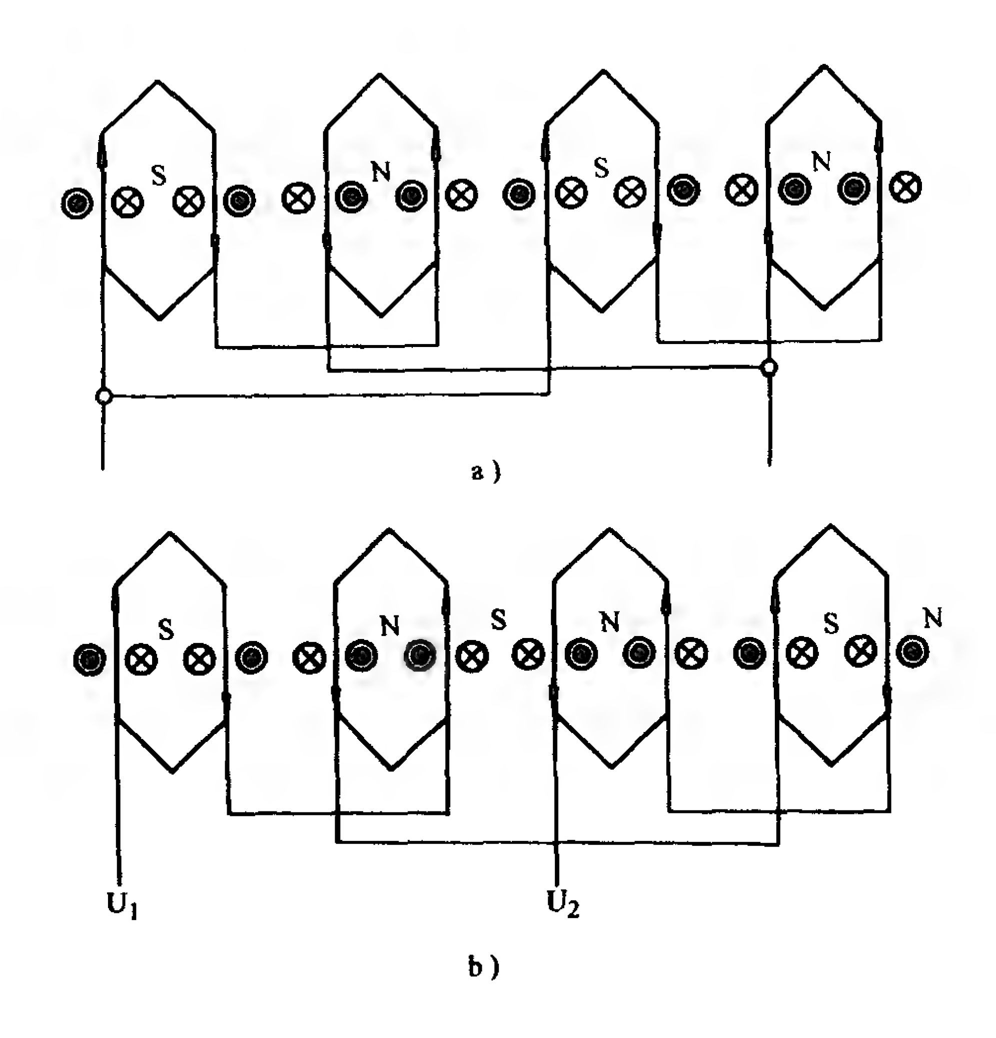


图 3-3　四极变六极的非倍极比一相绕组连接示意
a) 四极接法　b) 六极接法

使一半线圈电流方向改变，便得图 b 所示，绕组变成 6 极。这就是非倍极比反向变极原理。同理，也可用绕组电流极性解释变极，如图 3-4a 是 24 槽 6/4 极一相绕组布线示意。由图可见，一相绕组是由不等圈的线圈组构成，图 a U 相绕组的接线和各线圈的极性是根据绕组设计确定的。当电流从 6U 进入时为一路串联，电流从 U_0 流出则绕组线圈在槽中的电流方向，从符号标示是形成 6 极。虽然每极所含有效边不等，但它的分布却是对称的。同理，电流改由 4U 进入，则原绕组接线变为二路并联，电流从 6U 和 U_0 流出如图 b 所示，这时，U 相线圈边在紧邻的槽 9（下层）、10（上层）和槽 21（下层）、22（上层）因电流相反，磁场极性在此抵消而不复存在，所以此时 U 相绕组变为 4 极。同样，它们的分布也是对称的。

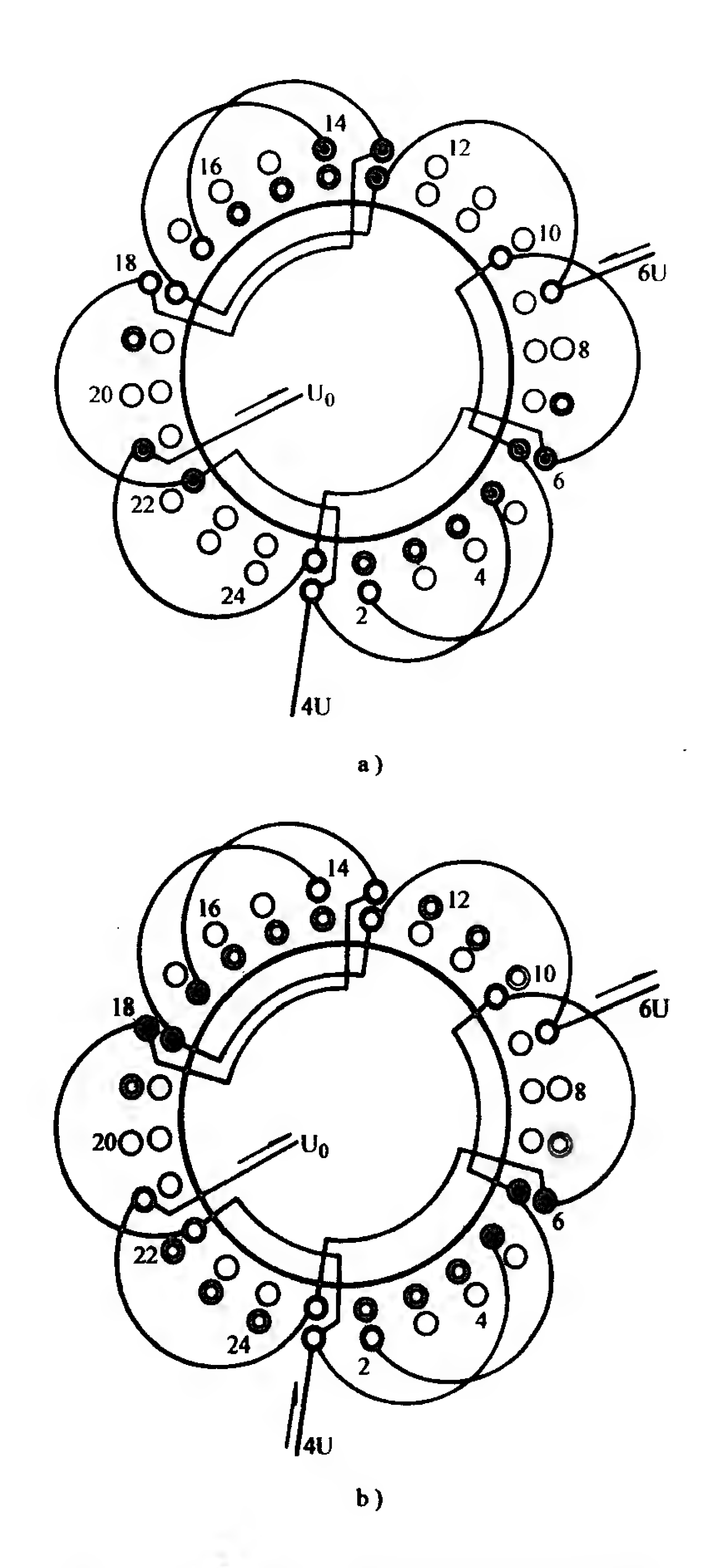


图 3-4　24 槽 6/4 极一相绕组布线变极示意图

a）六极绕组布接线　b）四极绕组布接线

上面仅取一相绕组进行分析是为了看清绕组变极过程，其实，用三相绕组同样可以显示其变极。图3-5是24槽6/4极三相绕组布接线图，图中是以6极接线为例标示各槽线圈电流极性，但与一相分析不同的是三相电流按正弦变化，分析时仅可用瞬态进行，而任何瞬间都不可能出现三相同时为“正”值。为此，图中各槽电流极性是设U、W相为正，V相为负的瞬态下画出。为了简化图形，还将流入导体的符号省去，而用“○”代表流入；“⊙”仍是流出。这时可根据相连成组的同极性槽视为一极，则图中在定子上分布形成的电流极性为6极。此外，也可以将各槽的下层(或上层)槽电流极性单独取出如图b，也能确定变极绕组的极数。同样也见构成非倍极比三相绕组每极槽数不相等，但仍是对称平衡的；而且，变极前后各线圈的相属也没有改变的。目前YD系列非倍极比电动机采用此种变极方法。

综上可见，非倍极比变极，虽然每相线圈数是相等的，但由于每组圈数不像正规分布变极绕组那样规整划一，而是由不等圈数的线圈组组成，因此每相组数也未必相等。就如本例变极绕组的每组就有单圈组、双圈组和三圈组，组成U相是6组线圈，而V相、W相则由4组线圈组成；但在定子上分布却是对称的。通常称此为非正规变极绕组，或称不规则分布变极绕组。此类变极形式主要应用于非倍极比变极，也用于远倍极比(如8/2极、24/6极等)变极绕组。

此外，不规则分布变极还有一个特点，就是通过人为因素的设计来提高某极数的绕组系数，从而使两种极数的绕组系数取得较高的接近值，所以对两种转速下要求出力接近的倍极电动机，也有选用不规则分布变极绕组。

4. 换相变极原理

采用不规则排列的双速绕组，虽能使某极数下的绕组系数人为提高，并使两种转速下的绕组系数趋于接近，但毕竟要以降低另一极数的分布系数为代价，故不能同时取得很高的绕组系数，就总体而言，绕组系数要比60°相带绕组逊色得多。换相变极就

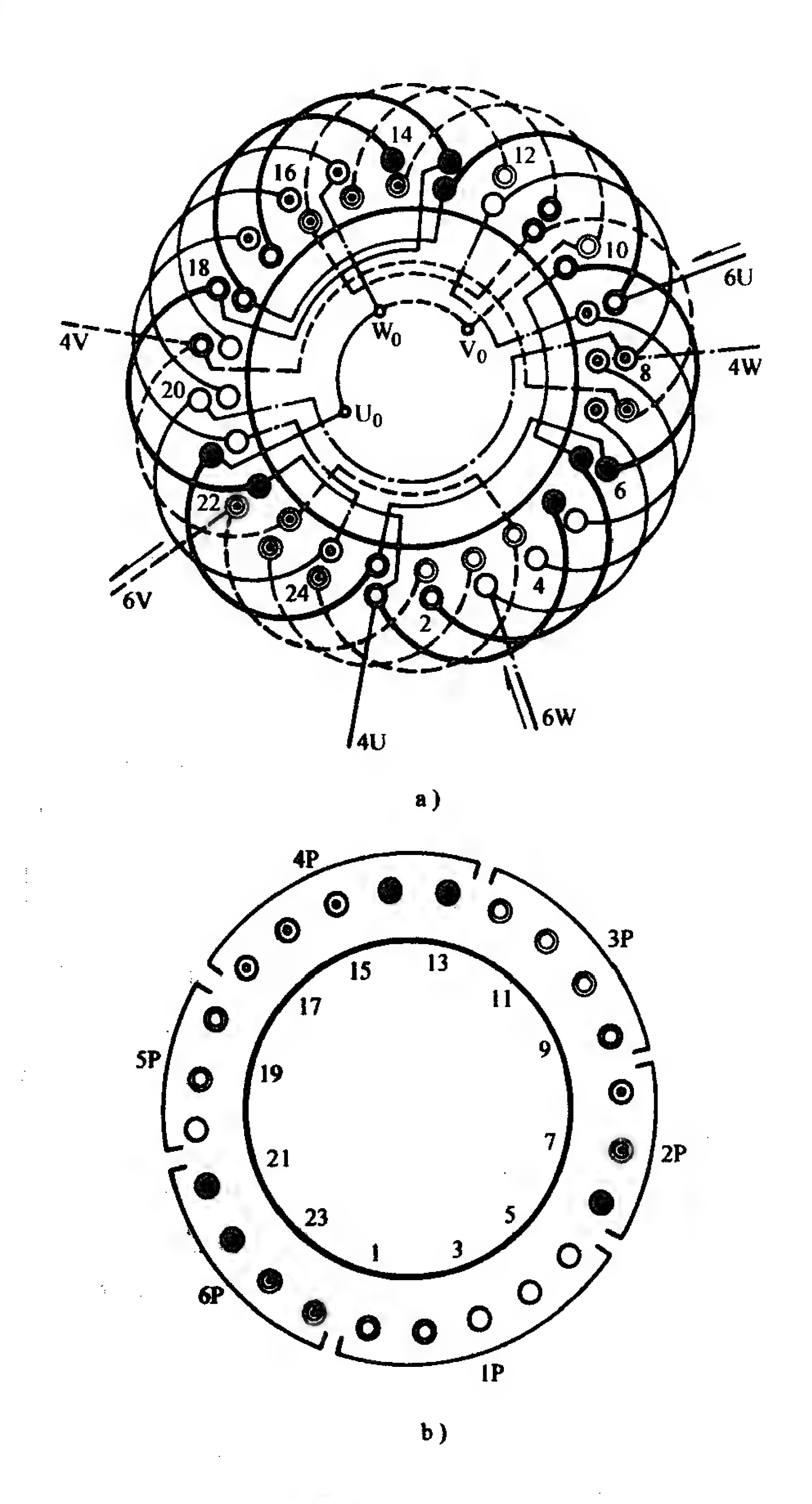


图 3-5　24 槽 6/4 极三相绕组布接线图

a）六极 Y 形接线时电流极性分析　b）各槽(下层)导体电流极性

是将两种极数的绕组设计成60°相带绕组。它的每极相线圈数及绕组分布、接线均与普通单速电动机绕组一样，例如，双叠绕组的每极相线圈数等于极相槽数，即 $S = q = Z/2pm$，则采用换相变极时每组线圈数都必须满足此条件。

例如，某36槽4/2极换相变极双速绕组：

2极：每组圈数　$S_2 = q_2 = 36/2 \times 3 = 6$ 圈

　　　线圈组数　$u_2 = 2pm = 6$ 组

4极：每组圈数　$S_4 = q_4 = 36/4 \times 3 = 3$ 圈

　　　线圈组数　$u_4 = 2pm = 12$ 组

由于绕组参数不同，要获得双高绕组系数，按常规只能用两套独立的绕组。但是如果把图3-6a的三相二极电动机绕组的简化接线(方块)图中的每组分拆成二组，如图b所示。显然其效果与图a是完全等同的，这12个线圈组构成的二极绕组无疑也是60°相带的；而12个线圈组也符合构成60°相带的4极绕组，其绕组接线如图c所示。但是，由图中可见，除二极组仍属原来2极时的线圈组外，原来分拆的2组已换到其他相，而4极中的二组又换接到原来2极的其他相位置，但也总算构成60°相带的四极绕组。这种方法称为换相法变极。

换相变极绕组主要用于倍极比变极，虽然能使两种转速下获得很高的绕组系数，但变极绕组引出线多，如4/2极绕组要引出线9根，而且对变极接法有局限性，接线也复杂，所以在双速电动机产品中没有应用实例。但由于反向变极的多速电动机出线也不少于9根，相对于此，三、四速电动机采用换相变极的“出线多”就显得不至突出，所以换相变极常用于多速电动机的倍极比变极，如老系列的JD3-140M-6/4/2中的4/2极绕组就应用换相变极。

5. 双节距变极原理

双节距变极是以庶极绕组为基础，在三相槽电势对称条件下，将双叠绕组的线圈组分解演变成具有不同节距线圈构成的变极绕组，故又称变节距变极。这种变极方法在变极电动机中应用

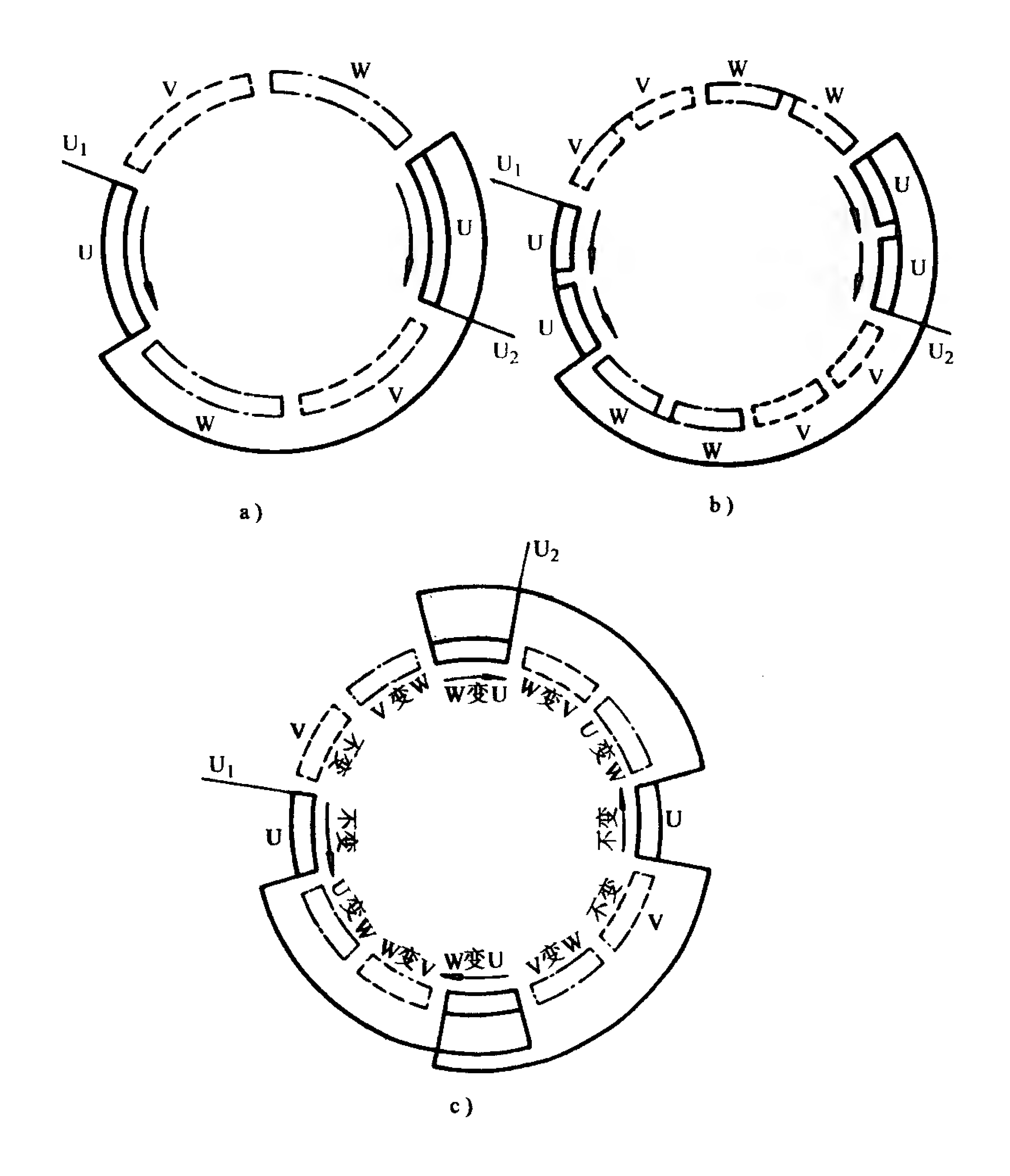


图 3-6　三相二极电动机绕组的两种布接线型式简化图

a）单速二极电机极相组安排

b）将原极相组分成两组　c）分组后改变接线形成四极

于三速绕组倍极比变极的某些产品，其优点是分布系数高，出线也略少于换相变极。

双节距变极的演变过程如图 3-7 所示。其中图 a 是一相绕组布接线示意，绕组采用端面布接线图的展开画法，小圆圈代表槽

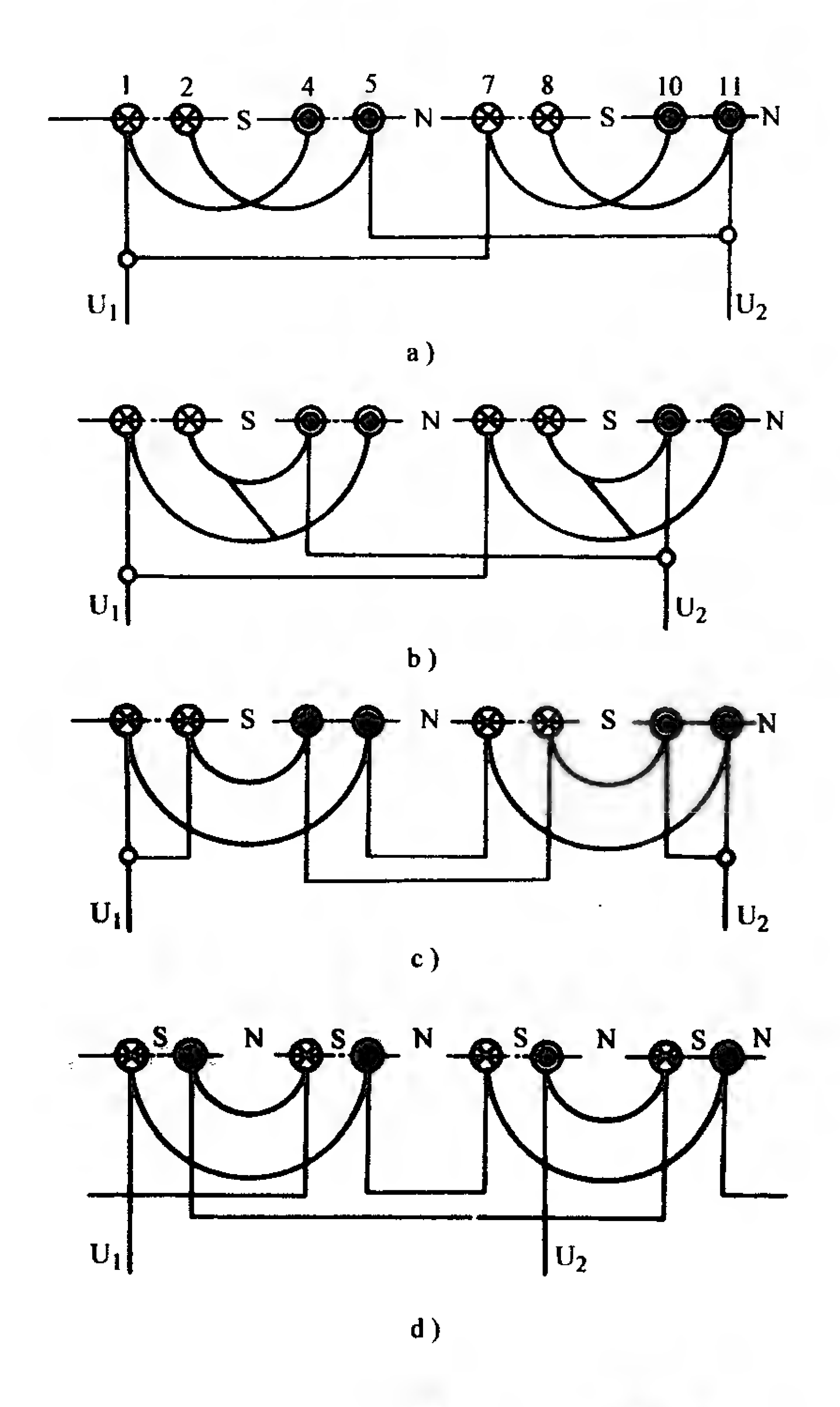


图 3-7 双节距变极演变过程与原理示意

a）四极电动机一相绕组庶极接法(二路并联)

b）将图 a 改变线圈端部为同心式绕组

c）将图 b 改为大小节距线圈分别连接(二路、四极)

d）改变小节距的一组线圈极性变成八极(一路串联)

及槽中线圈有效边，弧线是线圈端部。它由两组交叠线圈组并联成一相，因两线圈组极性相同，故属庶极布线。从图可见，当电流从 U_1 流入，则定子形成 4 个磁极。如果保留接线不变，把交

叠线圈组改成同心线圈组，如图 b 所示，则各槽电流极性也不变，显然这时的电磁效果与图 a 相同，依然是庶极接法二路并联的 4 极绕组。如果仍然保持庶极形式，按理也可将每组线圈中的大节距和小节距线圈分解成两组(本例每组仅一线圈)，并使每组中的大、小线圈各成一组，同时将全部大线圈和小线圈分别按原极性串联后并接成二路，如图 c 所示，此时一相仍是 4 极绕组。最后，通过接线(根据变极需要可改为一路或二路)将小线圈(组)(如图中的线圈 2-4 和线圈 8-10)的极性反向，但大、小线圈(组)依然是庶极连接，如图 d 所示。这时便使原来的一相 4 极绕组变成 8 极。

由上可见，双节距变极法是以少极数的庶极绕组为基础变极的，故只能适用于倍极比变极，而且少极数不得小于 4 极。由于变极条件局限，实用上仅见于 8/4 极(2 Y/2△)的绕组，而且在双速电动机产品未有实例。主要应用实例如老系列 JD3-112L-8/4/2 等三速电动机，而新系列变极电动机也未采用此法。

第二节　YD 系列双速绕组变极与接线

一、实施单绕组变极的条件

交流电动机变极必须满足的条件：

(1) 绕组必须能产生相应的极数；

(2) 电动机变速运行必须在同一电源下实施。

其实，绕组还要满足对称、平衡、相位关系等条件，但它们仅属电机绕组的基本要求，并非与变极相关，故不予讨论。而至于前一条件，上节已作过较详细的讨论，通过改变绕组的部分线圈极性可以实现；为了实现两种转速下能保持额定电压不变，就必须在变极前后满足其电动势恒定。

根据电机绕组电动势基本方程式变换得

$$U = 1.55\, W K_{\omega} \tau L B_{g}$$

$$W = \frac{S_z Z}{6a}$$

式中　U——电动机绕组每相电压，V；

W———一相绕组串联匝数，匝/相；

S_z——每槽有效导体数，根；

Z——定子槽数；

a——绕组并联支路数；

K_ω——绕组系数；

τ——电机极距，cm；

L——电机定子铁心长度，cm；

B_g——气隙磁密，T。

绕组变极时，式中除铁心长度不变外，其余参数都或多或少引起变化。例如，绕组从二极变到四极，极距 τ 就减窄一半，如果忽略其他参数变化，由上式可知每相绕组所能承受的电压也只有原来的一半。这时，如果设计上不采取合理措施而在原电源上使用便会烧毁。因此，为使其能在原电源运行，技术措施之一就是改变并联支路数，例如，将二极绕组设计成二路并联，变四极时改换一路串联，这样由式 $W = S_z Z/ba$ 得知，二极 $a = 2$ 时，设每相匝数为 W，变 4 极后 $a = 1$，则每相匝数便增至 $2W$，从而维持电动机相电压不变。这就是前面举例变极原理时常出现改变并联路数的原委。

然而，实际是极数改变除直接引起 τ 减少外，还会使其他参数间接改变，例如，线圈节距选定后是固定的，但极距却随变极而变，这就导致绕组系数 K_ω 值改变；而 K_ω 值又反过来影响每相串联匝数 W 值。此外，极数不同对磁密 B_g 值的合理选用标准也不同，例如相同规格之下，二极电机合理范围 $B_{g2} = (0.50 \sim 0.60)$T，而四极 $B_{g4} = (0.65 \sim 0.72)$T，就此而言，变极时也可能对电压承受能力造成影响。可见变极引起参数改变往往又不是成倍关系，而可能不足一倍，也可能超过一倍，所以在系列产品双速电动机中，几乎没有采用Y/2 Y接法的，而这种接法则多用

于电梯电动机。

此外，众所周知，三相绕组的接法有△形和Y形，△形接法线电压等于相电压；Y形接法的线电压是相电压的1.73倍。而电动机的额定电压即是线电压，因此，变极时改变接法可取得1.73倍或0.58倍的参数影响。为此，变极电动机可以籍此调整变极所造成的电压变化，通常可联合采用不同接法和并联路数，来满足变极前后能使其在同一电源上运行。

二、变极绕组安排与实际接线

前述可知，双速绕组变极时需要改变部分线圈的电流方向，而线圈反向接线并不难，但如果安排不合理，则一台变极电动机就要出很多线，这样改接起来不但麻烦，而且还会使控制线路变得复杂而难以实现。所以，如何以最少的引出线来获得变极是实施变极的关键。经过长期研究和实践，双速电动机绕组线圈的安排和接线已总结出一套规范的方法，它是根据绕组变极时的变化特征，按接线图模进行编排的。这种方法实施容易，而且引出线少。

图3-8是变极电动机产品中常用的变换接线方法。图中粗黑线三角形表示三相绕组的基本接线是角形；细实线是引出线；数字代表引出线编号(如在具体实例中则用极、相符号的标记)。根据变极绕组每相有一半线圈需要反向，故图中每相绕组分两段，其中脚注“1”是变极时需改变方向的线圈(组)；脚注“2”则是两种极数下都不变方向的线圈(组)。图a是双速绕组一路△形接线。三相电源从相头1、2、3引线进入，4、5、6空置不接，这时相电流方向如箭头所示；若改接到二路Y形则把1、2、3引线连成星点(虚线所示)，电源改从中间抽头4、5、6接入，这时由图b可见，每相绕组均分成二支路，U_2、V_2、W_2支路的电流方向与图a相同，没有改变。但U_1、V_1、W_1支路的电流已反向，即与图a箭头相反。因此，只要在每相中检出变极需要反向的线圈(组)填入图形中脚注“1”的位置，再把不变向的线圈(组)安排在脚注“2”的位置，按端接图改变接线便可获得△/2Y的变极绕组。

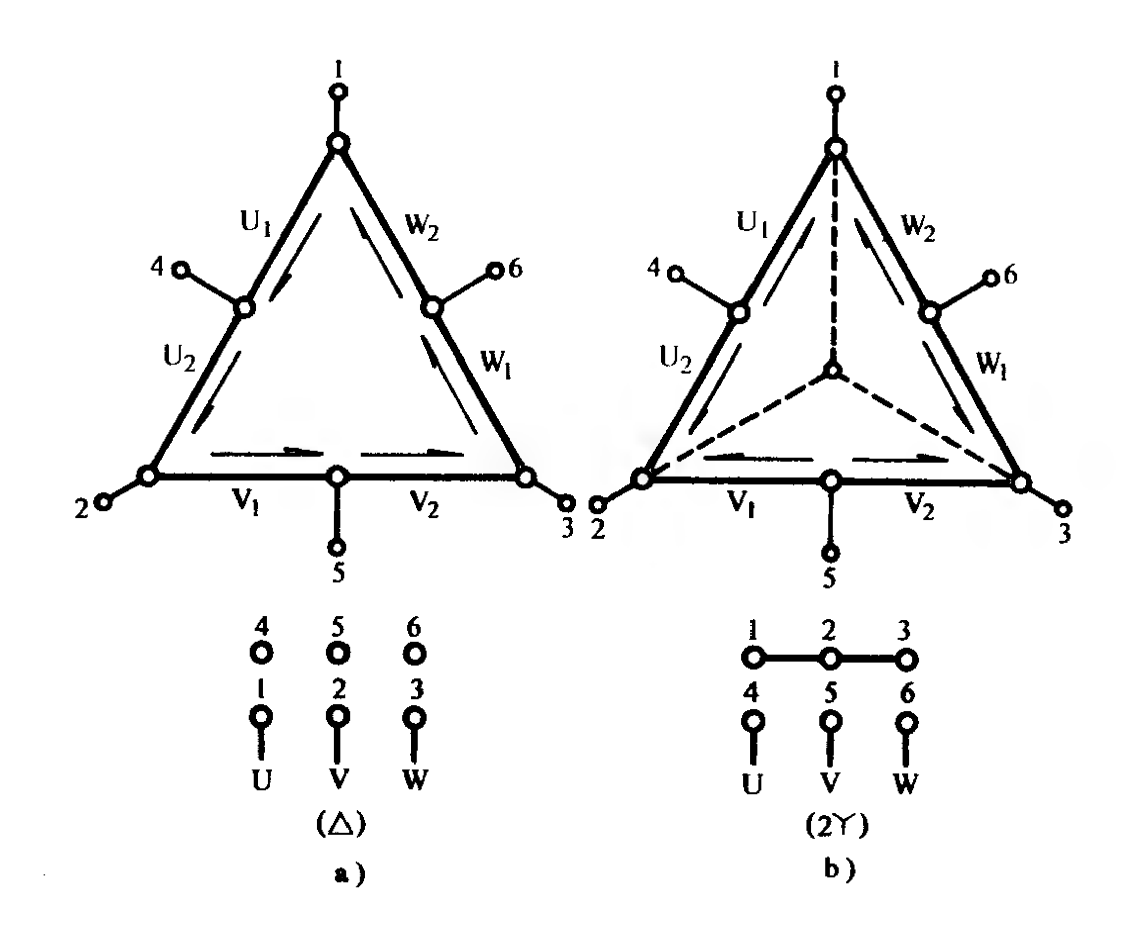


图 3-8 单绕组双速电动机△/2 Y接线模

a）一路△形接线 b）二路Y形接线

这里必须说明，以上分析是基于变极绕组保持电压相等的条件下进行，换言之，即严格要求两种极数绕组的磁密相同来分析的。然而，现实并非如此，要使两种极数下的磁密相同是难以做到的，其实也无此必要，特别是远极比变极的电动机，通常是以某种转速工作，而另一转速仅作为辅助运行。所以设计时常以工作状态的极数为基准选用合理的 B_g 值，而另一极数则控制在极值(应用最大值)范围。作者就曾从友人修理的一台双速电梯电机，核算其运行极数时，$B_g=0.69T$，而另一极数的 B_g 值竟超过 0.92T。

三、YD 系列变极绕组接线

1. YD 系列变极绕组的特点

YD 系列三相变极电动机是普通三相异步电动机 Y 系列的派生型式，它是老系列 JDO2、JDO3 变极电动机的替代产品。YD

系列的基本结构、绝缘等级、防护形式、冷却方式以及使用条件均与 Y 系列(IP44)电动机相同；额定电压为 380V，电源频率是 50Hz。YD 系列变极电动机与老系列相比而具有效率较高，功率因数及起动性能也有所提高；而同级重量，振动噪声则略为下降等优点，它较之国际同类产品，其技术指标也同处先进水平。

虽然变极电动机有表 3-1 和表 3-2 所示的接线方式，可设计不同转速下多样性的工作特性，但是，变极电动机中，应用最多，技术最成熟的当属△/2 Y接法。因此，在 YD 系列产品的变极电动机中，其绕组几乎是清一色采用△/2 Y的可变转矩特性的变极接法。

△/2 Y是既有路数，又有接法双重改变的接线，通常是将低速用(多极数)△接，高速(少极数)用 2 Y接线。这种变极参数变化率大致约为 0.866，在双速电动机中属接近恒功率的可变转矩特性，即变速工作时，其输出功率比较接近，输出转矩在高速时较小，低速时转矩较大。

2. △/2 Y变极绕组接线示意图

前面对变极绕组的安排和变换接线已作初步介绍，它是由两个图形来表达接线变换的，但实用上常以一个变极绕组接线示意图来反映变极绕组的接线和变换。变极绕组简化接线示意图(下简称为简化接线图)是由接线图模综合而成，它包括端接图和接线示意图。简化接线图选双速绕组变极接法中，图形较简且并联路数较少的图形为基础画出。例如 Y/2 Y选一路 Y形为基础，画出图形(如图 3-9a)；△/2 Y则选一路△形为基础画出图形如图 3-9b 所示。

通常，双速绕组用两个端接图表示极数变换的接线形式，它应包括所有引出线端子及标号，并画出电源进入端及端子连接状况，还要注明极数与接法等。

(1) 简化接线图的方向标示　由于简化接线图是变极接线的依据，它必须反映极数改变时的极性变化，所以除端接图标示电源进入端外，还应有方向标示。其方向是设电流从相绕组的头端

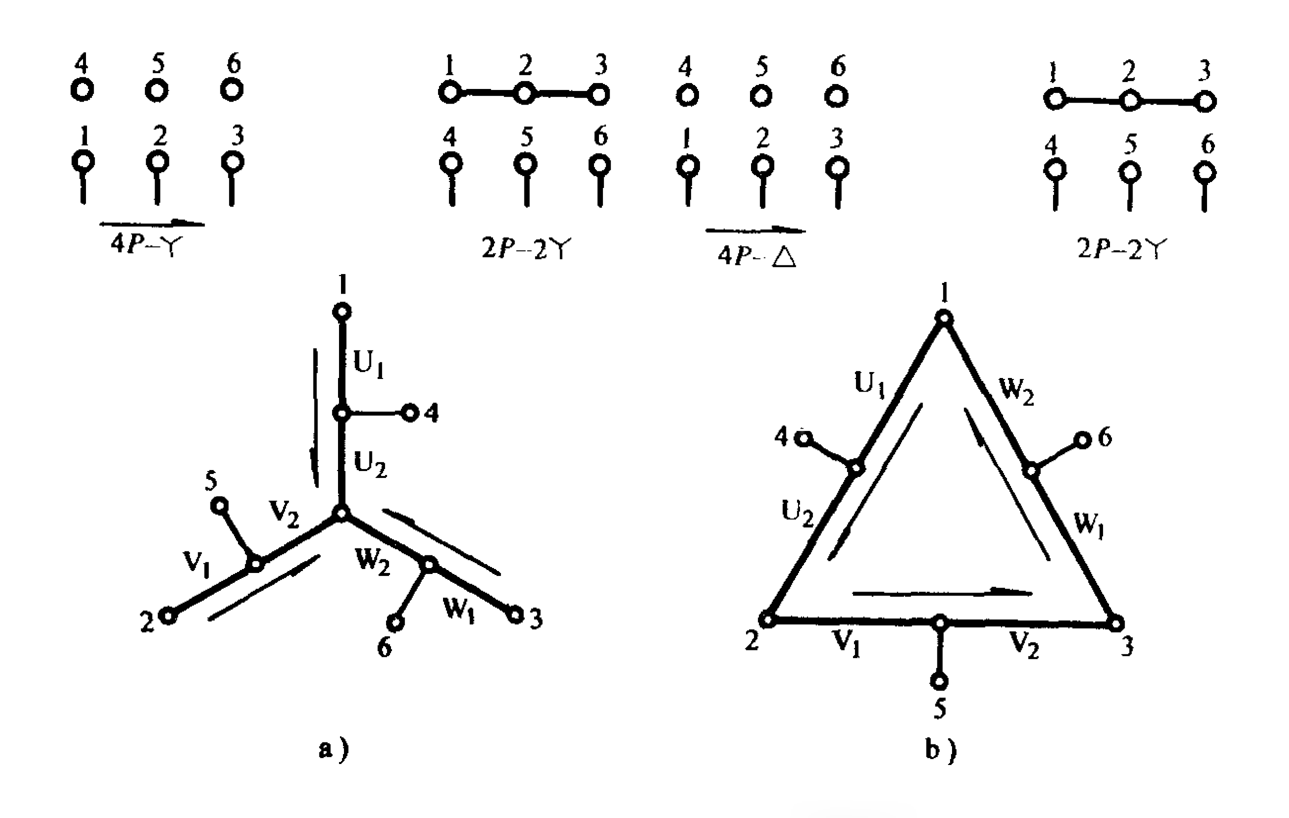


图 3-9　变极绕组的简化接线示意图示例

进，尾端出来确定，所以对Y形而言，其方向就如图 a 的箭头所示，而此箭头方向权属的极数也用箭头标示于端接图下方。例如，图 b 箭头方向是以极数为 4P 时△形接线为基准标示的。由于以单路为基础绘制的简化接线图，电流方向容易判别，所以也可不标示方向箭头。

（2）变极组的线圈标示形式　变极组系指变极时必须反向或不反向的线圈组，如图 3-9 中的 U_1、U_2，V_1、V_2，W_1、W_2 等。图 3-10 是△/2 Y接法、4/2 极双速绕组，是 YD 系列绕组结构型式的具体例子。由图 b 可见，其接线示意仅用一图，且图中引出线端号已被带极相号如 4U、4V、4W 等代替；而各变极组也由线圈号代替。为便于识图，特将两种极数的电流方向都标示于图，其中实线箭头是△接，即电流从 4U、4V、4W 进入；虚线箭头为 2Y 接，电流改由 2U、2V、2W 进入。此时可见，原来变极组 U_1（10、11、12）、V_1（16、17、18）、W_1（4、5、6）线圈电流已反向（见图中虚、实箭头）；其余变极组 U_2、V_2、W_2 则不变向。

再看图中，每变极组均由 3 只连号线圈组成，故可将连号线

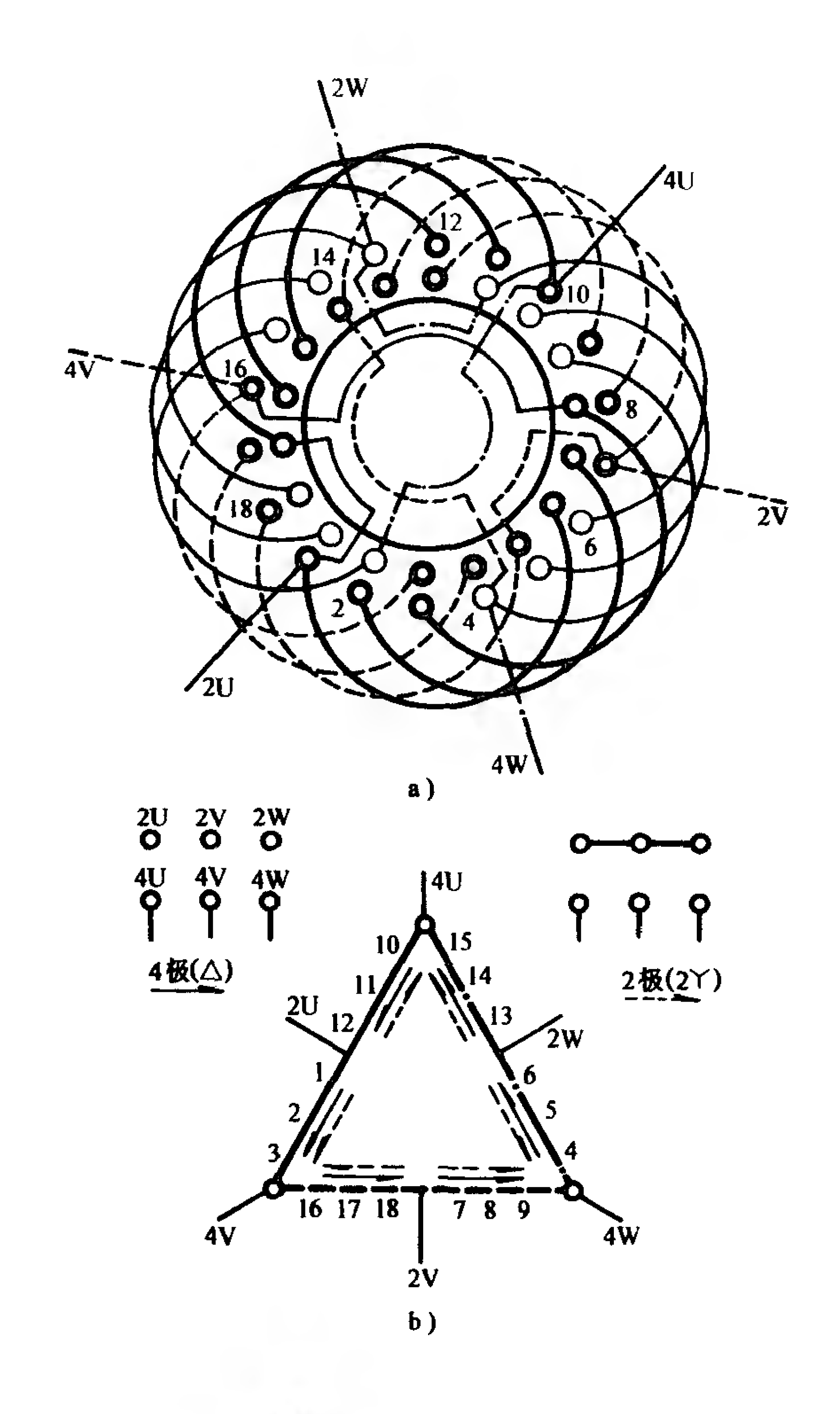


图 3-10　三相 18 槽 4/2 极△/2 Y双速绕组布接线示例

a）绕组布接线端面图　b）简化接线示意图

圈连绕成一组，即此双速绕组每相由二组线圈组成，其中一组变极需反向。因此，每线圈(组)在简化接线图的标示应有极性的含义。例如，图 3-10b 在四极时电流指示(箭头)方向与线圈排列次序相同(10、11、12)即称此线圈组顺序，电流是从该组的线圈 10

头端流入，尾端流出；同理，变极组 1、2、3 也是顺序。若改接为二极时，电流从中间抽头进入，电流方向如图中虚箭头所示，即线圈组 1、2、3 仍是顺序没改变；但线圈组 10、11、12 则反向，即线圈的序次与虚箭头相逆，故电流是从线圈组的尾端 12 进入，而从头端 10 流出。

线圈(组)的顺、逆序还有另一种标示型式，即在线圈号上方加“－”号，如图 3-11a 所示，两种标示的含义是相同的，即线圈电流都是从头流入，从尾流出。两种标示型式并无优劣之分，但对于单圈组因无次序之分，故单圈逆序必须加“－”号标示，如图 3-11b 中，依据箭头方向，线圈组(12、13)及单圈 23 是顺序，而($\overline{17}$、$\overline{18}$)及$\overline{28}$为逆序。此外，当每组线圈数目太多，如图 c 的 19、20、21、22、23、24 在简化接线图上容纳不下时，可用19-24 的简化形式标示。

10 11 12 = $\overline{12}$ $\overline{11}$ $\overline{10}$

a)

12 13 $\overline{17}$ $\overline{18}$ 23 $\overline{28}$

b)

24 23 22 21 20 19 = 24—19

c)

图 3-11 简化接线图的线圈号标示方法

3. △/2 Y双速绕组布接线

变极绕组布线主要采用双层叠式，故其线圈安排和嵌线与双叠绕组相同，在此不再赘述。图 3-10a 是△/2 Y双速绕组的端面模拟布线接线图，它很接近电机定子绕组的接线端，其线圈组连接也近似绕组实物的接线。下面就用端面图拟作实物，依据简化接线图来介绍双速绕组的布线和接线的实施。

(1) 绕组嵌线与分组　变极绕组每组圈数有等圈和不等圈

组，在重绕拆线时查明线圈的分布和具体接线，并画出接线简图。为把接线讲清楚，今把图 3-10b 进行拆线记录，依图查明变极组中的线圈构成，并把连号线圈并为一组，作为制作连绕线圈组的依据；另外，对每组不等圈的绕组，要根据简化图的安排嵌入，不要嵌错，否则便可能造成接线错误而要返工重嵌。但本例是等圈组，只要逐组顺次嵌入便可。

（2）绕组分相　变极绕组分相参照简化接线图先找出三相线圈组如下：

U 相　(10—12)、(1—3)；

V 相　(16—18)、(7—8)；

W 相　(4—5)、(13—15)。

如操作不熟练者可做上记号。因本例是正规分布，线圈组结构简单，仅为 6 个三联组，而对每组圈数不等的绕组，还应作如下核查：

1）检查嵌入定子线圈组数目与简化接线图应相符；

2）依据简化接线图，按线圈编序检查各组线圈分布是否相符。

（3）变极绕组接线　变极绕组接线与普通电动机均是逐相进行，但要依图而作，通常是选并联支路数少的接法，如本例△/2 Y则选一路△形为基础，按图连接。接线时沿着△接的实线箭头从“4U”开始，接入线圈组(10—12)的头端(槽 10 下层。因本书采用后退式嵌线，故取下层边为头，见图 3-10a)，尾端为槽 12 上层抽出引线并作标号“2U”，再依简化图实箭头所示与线圈组(1—3)顺接串联(可参看图 3-10a 的连接)，其尾端(槽 3 上层)引出，标号“4V”则 U 相接线完成。然后继续从“4V”开始，同理类推把 V 相和 W 相接好，最后将 W 相的尾端(槽 15 上层)与 U 相头端“4U”闭合成△形，则三相绕组连接完成，如图 3-10a 所示。

目前生产的 YD 系列变极电动机均用△/2 Y接法，虽规格不同，但结构原理是一样的。本节仅以此简单例子介绍其布接线方

法要点，读者可通过此例的学习，掌握△/2 Y双速绕组接线要领，从而打下变极电动机修理的基础。

第三节　电梯双速绕组变极与接线

电梯用电动机属三相交流双速电动机，转子型式是深槽笼型，其起动能力和过载能力都较强。电动机外形结构有多种型式，如JTD、YTD的开启式、防护式、JTD2的散热片外壳封闭式以及YYTD的强迫通风防护式等。

电梯电动机主要采用三相变极电动机，除此，为获得更好的调速、控制性能，也有选用交流变频调速电动机和直流电动机。交流电梯电动机的工作方式是断续周期工作制，起动为全压起动。电梯电动机的双速是远极比变速，通常用24/6极，但也有少量用32/8极或16/4极的。高速挡设计定额为30min，低速挡是3min。

电梯电动机有单绕组双速和双绕组双速，双绕组是由两套独立的绕组嵌于定子，通常是把高速(少极数)嵌于底层，低速嵌于面层；而高速绕组常用双层叠式，低速用单层链式或庶极单链。变极电梯绕组主要采用Y/2 Y接线，但近期也见有用Y/3 Y接法的电梯电动机。

一、Y/2 Y电梯变极绕组

1. 24/6极Y/2 Y变极绕组

此式是电梯电动机在目前应用最普遍的绕组型式。

(1) 24/6极电梯变极绕组的特点

1) Y/2 Y电梯变极属远倍极比为偶数的双速绕组，24/6极的变极必须要有一半线圈反向；

2) 绕组是正规分布变极绕组，24极是120°相带的庶极绕组，由反向法形成6极；

3) 绕组布线型式是双层叠式，且24极时每极相槽数 $q=1$，但采用双层庶极则每组由双圈组成；

4）因是正规分布，三相绕组的分布和接线相同，故线圈绕制及嵌线、接线都比较方便省时；

5）绕组引出线仅为 6 根，变极控制容易实现；

6）绕组虽然具有结构简单，接线容易等优点，但其绕组系数较低，特别是高速绕组系数 $K_{\omega 6}=0.648$，从而使正常工作的输出功率受到一定的影响。

（2）24/6 极 Y/2 Y 电梯绕组的变极与接线　本例绕组共有 36 组线圈，每相由 12 线圈组分为两个变极组，如图 3-12 所示。其中 6 组(虚线绘制)是变极时不反向的线圈，再由相邻两组线圈顺接串联成一大组，并对称分布于定子，而 3 大组则顺接串联成

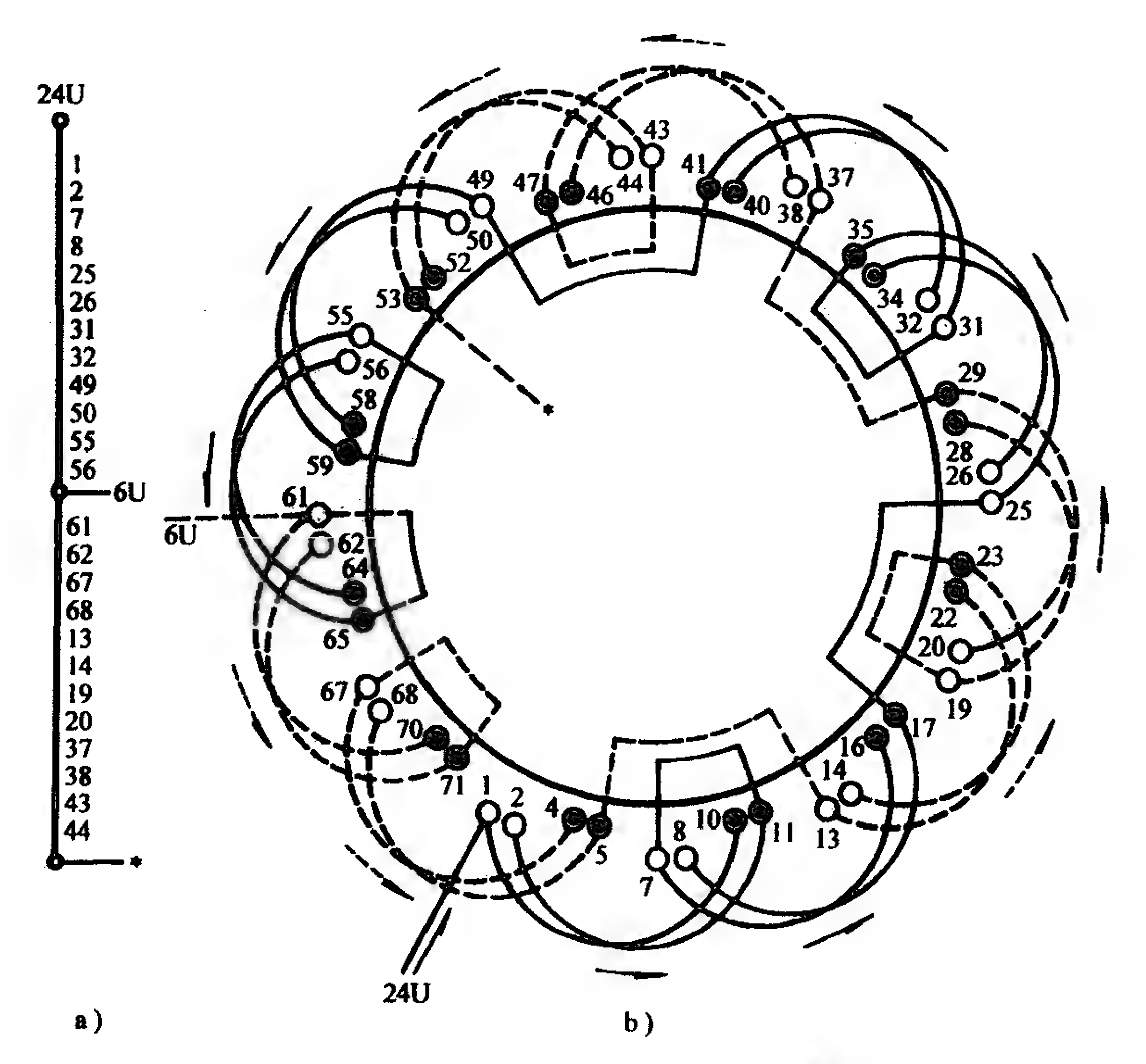
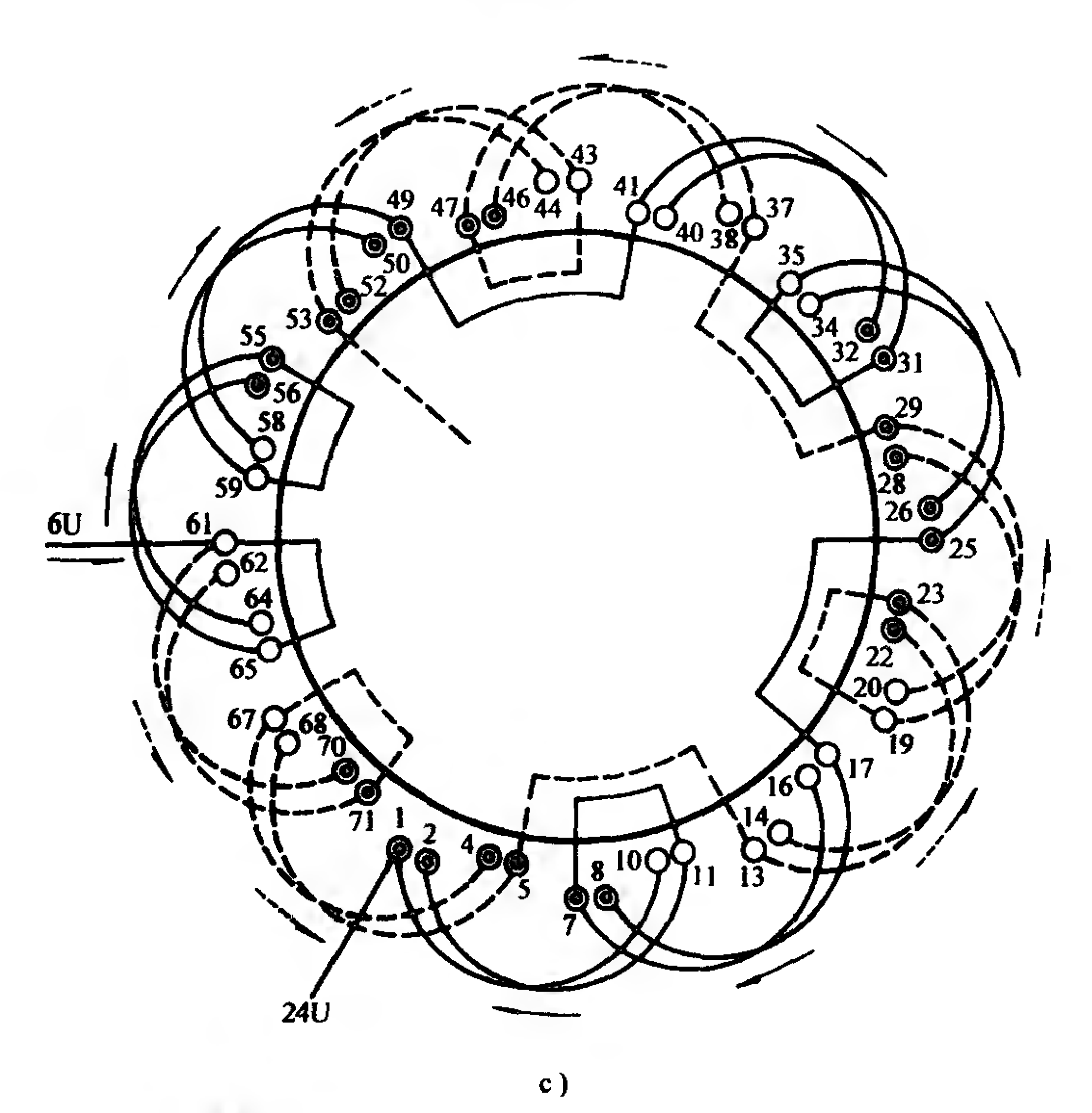


图 3-12　72 槽 24/6 极 Y/2 Y 变极

a）简化接线(U 相)示意图　b）U

c）U 相绕组布接线

一变极组；另外6组是变极时需反向的线圈组(实线绘制)，其分布与接线如上，最后也串联成另一变极组。而两变极组在定子上的分布也是对称的。当一路接线时则如图3-12b所示，电流从24U进入，两变极组串联，各线圈组电流方向(如图所示)是一致的，而槽中的电流极性在定子圆周上分布12对交替的极性，即形成如图b所示的24极。当改变接线为二路并联，电流改从6U分两路流入绕组两变极组，这时如图3-12c可见，虚线变极组的线圈电流方向(箭头)不变，而实线变极组则全部反向，这时定子便形成6组交替的电流极性的槽，即一相绕组变成6极。



c)

绕组中的U相线圈分布与接线

相绕组布接线及24极的形成

及6极的形成

此式绕组是Y/2 Y变极的正规分布，是国产 JTD 系列产品采用的绕组型式，其三相变极绕组的布接线可参看下节典型范例图 3-28。除系列产品外，目前各厂家或自行设计，或引进产品，已有若干采用非正规分布的绕组型式，其布接线比较复杂，但工作运行绕组系数则略有提高。

2. 32/8 极Y/2 Y电梯变极绕组

32/8 变极属于 q_D 值小于 1（$q_D = 72/32 \times 3 = 3/4$）的分数绕组，是变极绕组中的特殊型式。

（1）$q_D = 3/4$ 变极绕组的特点　q_D 分数变极除实用 32/8 变极外，理论上还包括 16/4 极、8/2 极绕组，变极原理和接线规律相同，其变极绕组具有如下特点：

1）32/8 极Y/2 Y变极绕组是新出现的变极型式，但仍属远极比为偶数的双速绕组，而变极接线不同于 24/6 极；

2）绕组布线采用双层叠式，此绕组结构虽属特殊，但仍是正规分布，变极时有一半线圈反向；

3）由于 $q_D < 1$，当采用显极布线时，即使每组一圈，72 槽定子也只能形成 24 极，因此它采用显极与庶极混合的特殊形式；

4）绕组的线圈组数较上例(24/6 极)多一倍，接线较繁琐，但引出线仍为 6 根，变极控制也容易实施；

5）此绕组结构特殊，只宜选用 $y = 1-8$ 的节距，否则会使性能变差，甚至无法形成相应的极数；

6）变极绕组系数依然很低，但两种转速下的绕组系数较接近。

（2）$q_D < 1$ 的Y/2 Y双速绕组的变极原理　图 3-13 是 $q_D =$ 3/4、Y/2 Y接线双速一相绕组的变极原理示例。图中绕组是 18 槽 8/2 极，是构成 72 槽 32/8 极变极绕组的基本单元。图 a 是 U 相的简化接线示意图，它分两个变极组，每变极组有 3 只线圈各自为一组，其中两圈极性为“正”，一圈极性为“负”。绕组接线逐相进行并以单路为基准，两变极组也依图顺次连接。如图 b 所示是单路，当电流从 8U 进入，使线圈 1—$\overline{8}$和线圈 7—$\overline{14}$顺接串联，

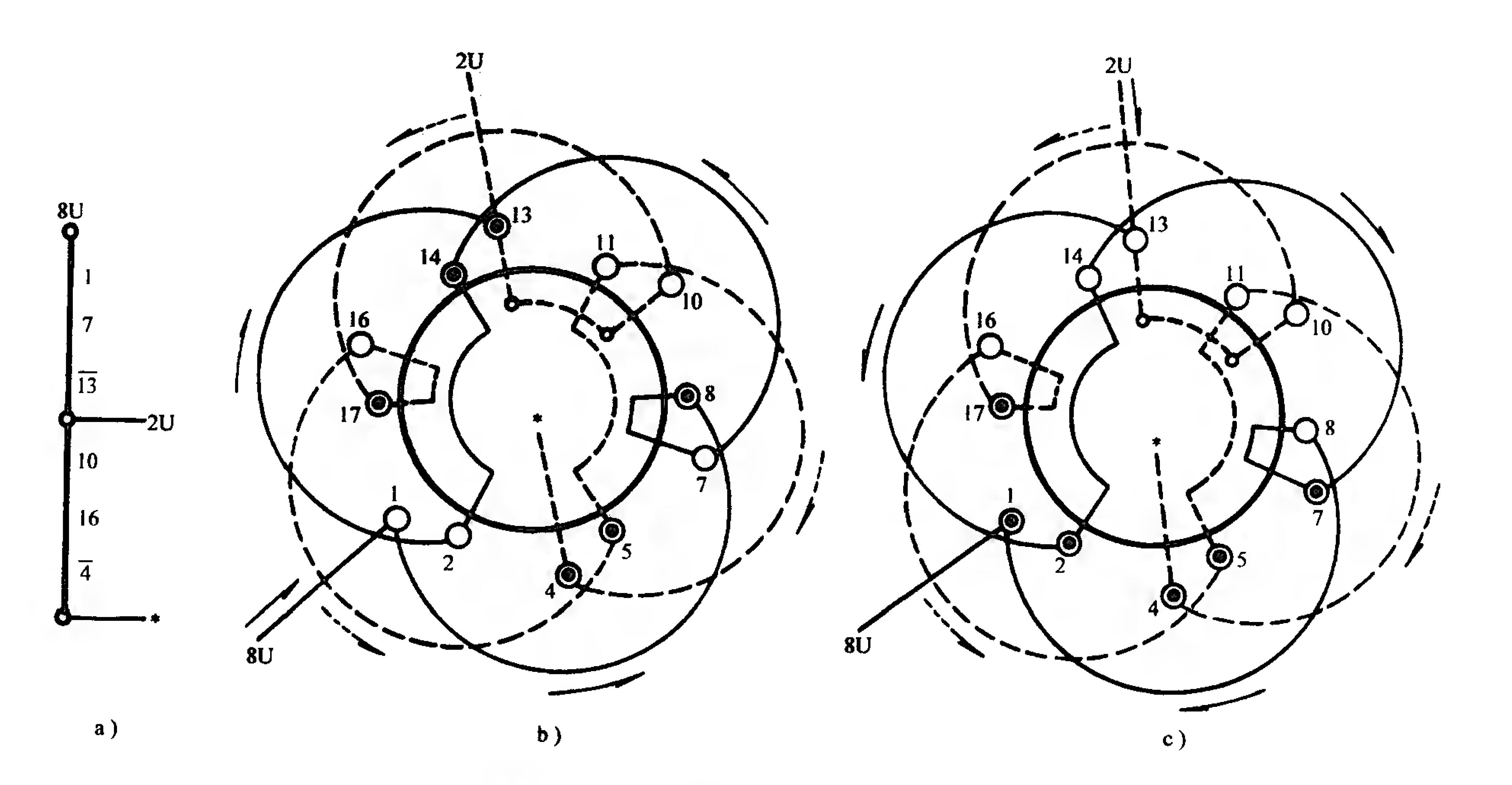


图 3-13　$q_D = 3/4$ Y/2 Y变极原理示例

a）U相简化接线示意图　b）一路接线形成8极　c）二路接线形成2极

再与线圈$\overline{13}$—2 反串后抽头 2U，完成一变极组；然后接入另一变极组之首的线圈 10—$\overline{17}$，再与线圈 16—$\overline{5}$顺串后与第 3 只线圈$\overline{4}$—11 反串，最后接到三相星点“＊”。

这时由图 3-13b 可见，U 相绕组中槽 1、2，10、11 是两组电流(正)极性；而槽 4、5，13、14 是两组(负)极性，无疑这是 4 个显极。而槽 7、8、16、17 的电流均来自不同槽的不同线圈，虽然只有单槽极性，所以形成的是 4 个庶极，从而使 6 只线圈在定子上形成 8 极。如果将电流改由 2U 进入，则两变极组并联，U 相所形成的极性就如图 c 所示的 2 极。

综上变极过程，总结得 $q_D=3/4$ 变极绕组的接线是逐相进行，三相接线相同，一相接线则从单路电源引入端开始，连接要点如下：

每相分两变极段(组)，同相隔圈同一段，只能同段连单元，每一单元三线圈，相邻两圈顺串联，再行反串第三圈，一段如有数单元，循此规律串接好，一段完成抽出线，继续串接第二段，此段连接同上面，最后尾线连星点。

这里需作说明的是每相一、二段的连接，其关键是二段变极组的起接位置，它应在一段接线完成后，向后退 3 槽的线圈头端，即是二段起始，连接如图 3-13b、c 所示。对于 $q_D=3/4$ 而言，无论何种变极，其二段头端均按此确定。

为了便于分析，图 3-13 特选绕组结构最简的 18 槽 8/2 极为例，它是 $q_D=3/4$ 变极绕组中最小的单元，即每变极组只有一个接线循环单元。如 72 槽 32/8 极则每变极组有 12 圈，即每段有 4 个接线循环单元，它的二段起始仍是退后 3 槽。32/8 极 Y/2 Y 的双速绕组布接线可参看范例图 3-29。

二、Y/3 Y电梯变极绕组

此式变极绕组是 36 槽 12/4 极 Y/3 Y接法，是新近应用于货物电梯电动机，其绕组结构特殊，接线也复杂。现根据重绕分析，将其介绍给读者，以备日后修理时拟作参考。

1. 12/4 变极绕组的特点

1）绕组属远极比(12/4 = 3)为奇数的双速绕组，是一种从未出现过的变极形式；

2）绕组变极时只需 1/3 线圈反向，这与以往的反向变极有很大区别，故须采用Y/3 Y变极接法；

3）变极绕组每圈为一组，三相线圈按 U、W、V 循环分布于定子槽中。每相 12 只线圈分成 3 个变极组，每变极组 4 圈，但每组分布和接线各有不同，而三相绕组的分布与接线则完全一样；

4）因每极相槽数为 1，为形成相应极数并获得较好的性能，线圈节距仅宜采用 $y = 1 - 9$；

5）变极绕组每相出线 3 根，故全部引出线 9 根；

6）变极绕组系数较接近，但均较低。

2. 12/4 极Y/3 Y双速绕组变极原理

（1）变极绕组的结构与安排　图 3-14 是 36 槽 12/4 极Y/3 Y双速绕组的 U 相绕组。为了便于识别一相绕组中的三个变极组的分布和接线。图中用粗实线、点划线和虚线加以区分三个变极组。图 a 是一相绕组的简化接线示意图。图 b 是三个变极组的分布和连接状况，其中变极组 U_1—U_2 (粗实线)有 4 只线圈，每 2 圈构成交叠状，并安排轴线对称；变极组 U_5—U_6 (虚线表示)4 只线圈分布和安排型式同 U_1—U_2 组，但在定子上错开 90°几何角，使之两变极组在定子上呈对称分布；变极组 U_3—U_4 (点划线表示)的 4 只线圈安排不同于上，它们互不交叠，并呈单链形式，对称分布于相应位置如图 3-14b 所示。

（2）12/4 极绕组的变极　设电流从 U_1 进入，如图 3-14b 所示，流经变极组 U_1—U_2 4 线圈的电流极性全部为正(设电流方向与槽序同方向者为正)，继续流经变极组 U_3—U_4，这时 4 线圈是二正二反，电流方向如图中箭头所示；然后再经 U_5—U_6 至星点，则 4 只线圈电流与 U_1—U_2 相反。这样三个变极组就如图 a 所示串联成一路，根据各线圈电流(箭头指示)方向，各槽线圈边的流出标示为“⊙”，流入保持“○”。以紧邻且相同极性的导体槽为电流一极，便得如图 b 所示 12 极绕组。

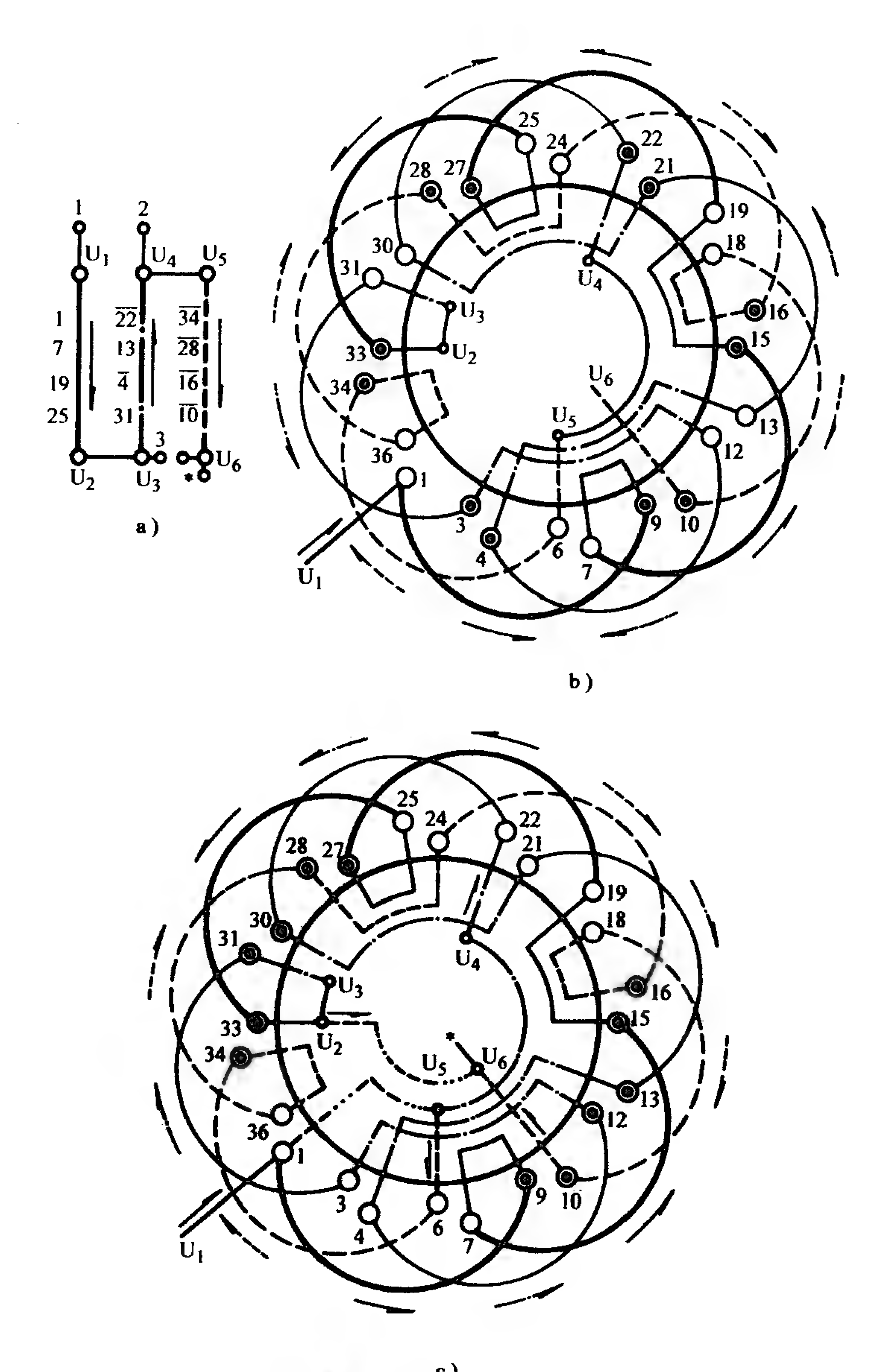


图 3-14　36 槽 12/4 极 Y/3 Y 变极原理示例

a）简化接线 U 相(一路串联)示意图

b）一路串联形成 12 极　c）三路并联形成 4 极

如果通过外部接线，如将图 a 中的 1、2 连通，再把 3 与星点接通，如图 3-14c 中用虚点混合线连接，则绕组三个变极组构成三路并联。若电流仍从 U_1 进入便分三路(U_1、U_4、U_5)流经三个变极组，这时各线圈电流方向如箭头所示。对照图 b 和图 c 的箭头方向可见，只有变极组 U_3—U_4（点划线）的线圈反向，其余二变极组的极性不改变。若把线圈电流极性标示于槽中导体，便可将绕组变成图 c 的 4 极绕组。

3. 12/4 极 Y/3 Y 双速绕组的接线

上述介绍可知，变极绕组每相分 3 个变极组，各组分布和极性则不尽相同，但就整个绕组而言，它的实际布线型式则是双层叠式，所以，绕组嵌线(或绘图)都是按此嵌线(或绘制)的，而上面所讲每相三个变极组的区分，仅是通过绕组的接线形成的。因此，其接线就显得尤为重要。

Y/3 Y 双速绕组的接线(或布接线图线圈的连接)与普通电动机一样，是逐相进行的，所以，接线前先行分相，由于每组仅一圈，所以相隔 2 槽(本书以下层槽号为线圈号)为同相线圈，而一相线圈分三个变极组接线。当一路 Y 形接线时由图 a 可得 U 相三变极组的线圈和极性如下：

U_1—U_2　1、7、19、25；

U_3—U_4　31、$\overline{4}$、13、$\overline{22}$；

U_5—U_6　$\overline{34}$、$\overline{28}$、$\overline{16}$、$\overline{10}$。

各变极组的接线要领：

U_1—U_2 变极不反向，U_1 从线圈 1 头端接入，4 只线圈顺槽号次序顺接串联；

U_3—U_4 变极需反向，U_3 从线圈 31 头端接入，4 只线圈沿槽号顺序按正—反—正—反方向连接；

U_5—U_6 变极不反向，但全部线圈反极性。因此，U_5 从线圈 34 的尾端接入，以槽序相反的方向同向串联。

各变极组接线时各组头尾要作好标记，然后参考图 3-14b，分别将 U_2 与 U_3、U_4 与 U_5 连接；并如图 a 所示抽出引出线 1、2、

3。三相接线相同，最后把 U_6、V_6、W_6 结为星点，引出线 9 根接到出线盒。本例双速的三相绕组布接线可参考范例图 3-25。

第四节 变极电动机绕组实用布线接线典型范例

三相变极电动机是异步电机的特殊型式，它可有双层和单层两种布线，但实用上主要采用双层叠绕，线圈通过精心安排和规范接线来获得绕组极数的变换，是目前变速运行的主要型式之一。变极电动机包括单绕组双速和多速，但实用上较多采用双速，如目前新系列产品中，除单绕组双速外，三速电动机均采用双速与单速结合的双绕组型式。因此，本节典型范例收入 YD 系列的实用型式及电梯国产系列常用型式和修理中新近整理而成的特殊型式共 15 例，供读者参考。

变极电动机双叠绕组嵌线方法与普通异步电动机双叠绕组相同，即采用交叠法，倒退嵌线，嵌线初始需吊边，吊边数等于线圈节距 y。嵌线规律是：嵌入一槽下层边，另边吊起暂不嵌，后退续嵌下层边，循此退嵌一个极矩 y 后，以后线圈可整嵌(同时嵌入上下层边)，直至下层全嵌入，方把吊边逐个嵌入，上层嵌罢便完成。因嵌线方法相同，仅吊边数各异，故各例可据此嵌线，不再赘述。

变极绕组每例包括布接线图及简化接线图，图中线圈是以下层线圈边所在槽为编号。布接线图则采用作者独创的模拟端面画法绘制，为区别三相绕组，特用粗黑线代表 U 相；虚线及双层小圆代表 V 相；点划细线代表 W 相。双速绕组引出线端号用复合形式表示，如“4U”中数字“4”为极数(4 极)；“U”是相别。余类推。

一、24 槽 4/2 极△/2Y($y=6$)双速绕组布线接线图(图 3-15)

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=24$　　　线圈组数　$u=6$

每组圈数　$S=4$　　线圈节距　$y=6$

绕组系数　$K_{\omega2}=0.68$　$K_{\omega4}=0.83$

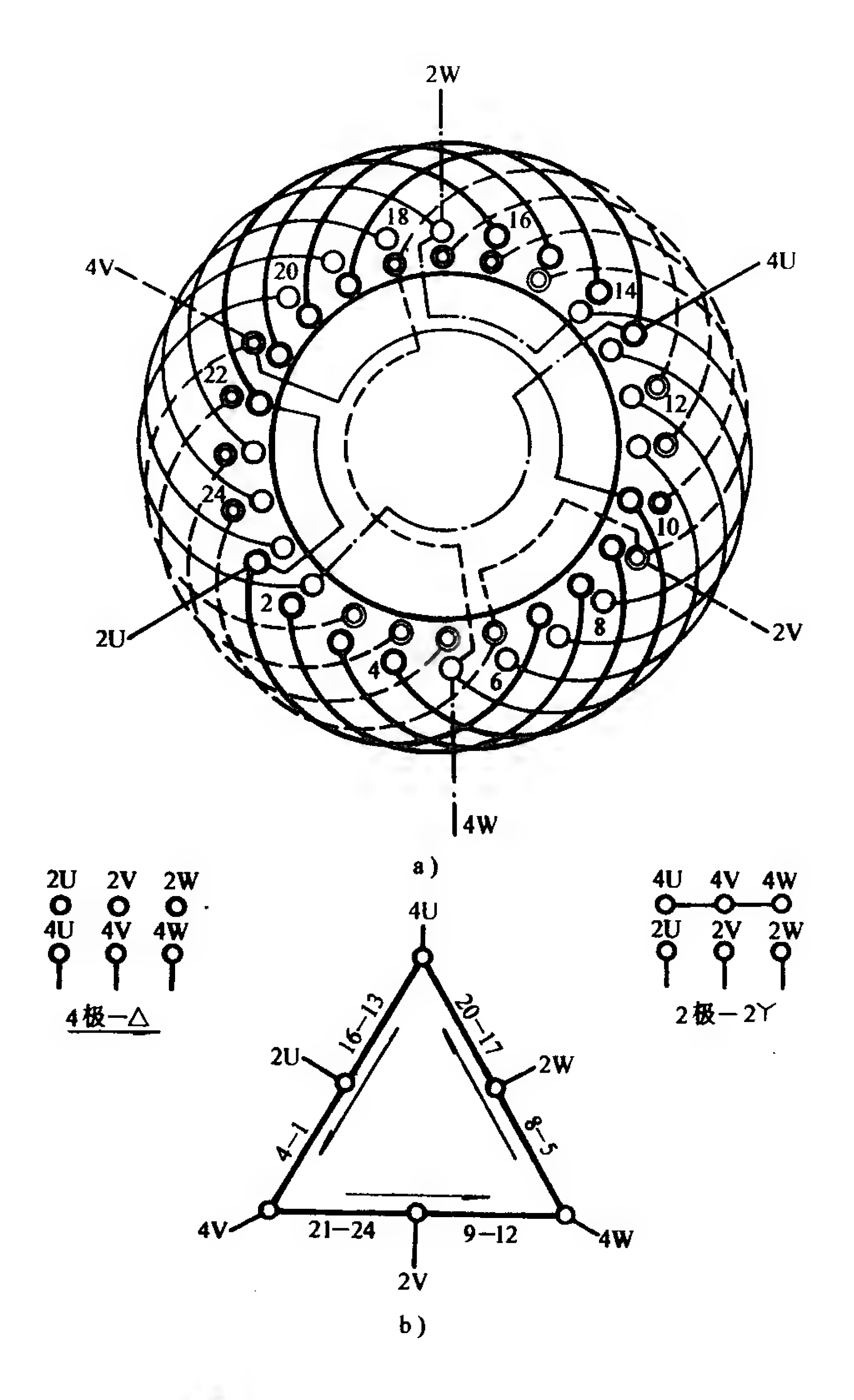


图 3-15　24 槽 4/2 极△/2 Y($y=6$)双速绕组布线接线图

2. 绕组结构特点与应用举例

绕组是倍极比正规分布变极方案。二极为60°相带布线，反向四极是庶极接法，变极具有可变转矩特性。两种极数的转向相反。此绕组结构简单，每组由4只线圈组成，每相仅有两组，其接线也非常简便，引出线仅6根，是产品变极电动机常用的变极方案。但绕组系数较低。主要应用实例有YD90S-4/2等。

二、24槽4/2极△/2Y（$y=7$）双速绕组布线接线图（图3-16）

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=24$　　线圈组数　$u=6$

每组圈数　$S=4$　　线圈节距　$y=7$

绕组系数　$K_{\omega2}=0.76$　　$K_{\omega4}=0.802$

2. 绕组结构特点与应用举例

本例是倍极比分布双速绕组，结构基本同上例，即以2极为基准，用反向法排出4极，但选用线圈节距较上例长一槽，使2极时节距系数略增而4极稍减，从而使两种极数下的绕组系数较接近。本绕组均由四联组构成，接线可根据图b按一路△形庶极连接，再引顶点和中段抽头各三根。应用实例有YD802-4/2等。

三、36槽4/2极△/2Y（$y=9$）双速绕组布线接线图（图3-17）

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=36$　　线圈组数　$u=6$

每组圈数　$S=6$　　线圈节距　$y=9$

绕组系数　$K_{\omega2}=0.676$　　$K_{\omega4}=0.83$

2. 绕组结构特点与应用举例

本例是正规分布变极绕组，每相有2线圈组，每组由6只线圈串联而成。2极为60°相带显极布线，其中一半线圈反向得4极庶极绕组。绕组接线也按4极逐相串联成一路△形，最后引出6根出线。变极时两种转速下的转向相反，如需同向则通过接触器将电源反相。主要应用实例有YD160L-4/2、JDO3-140M-4/2等。

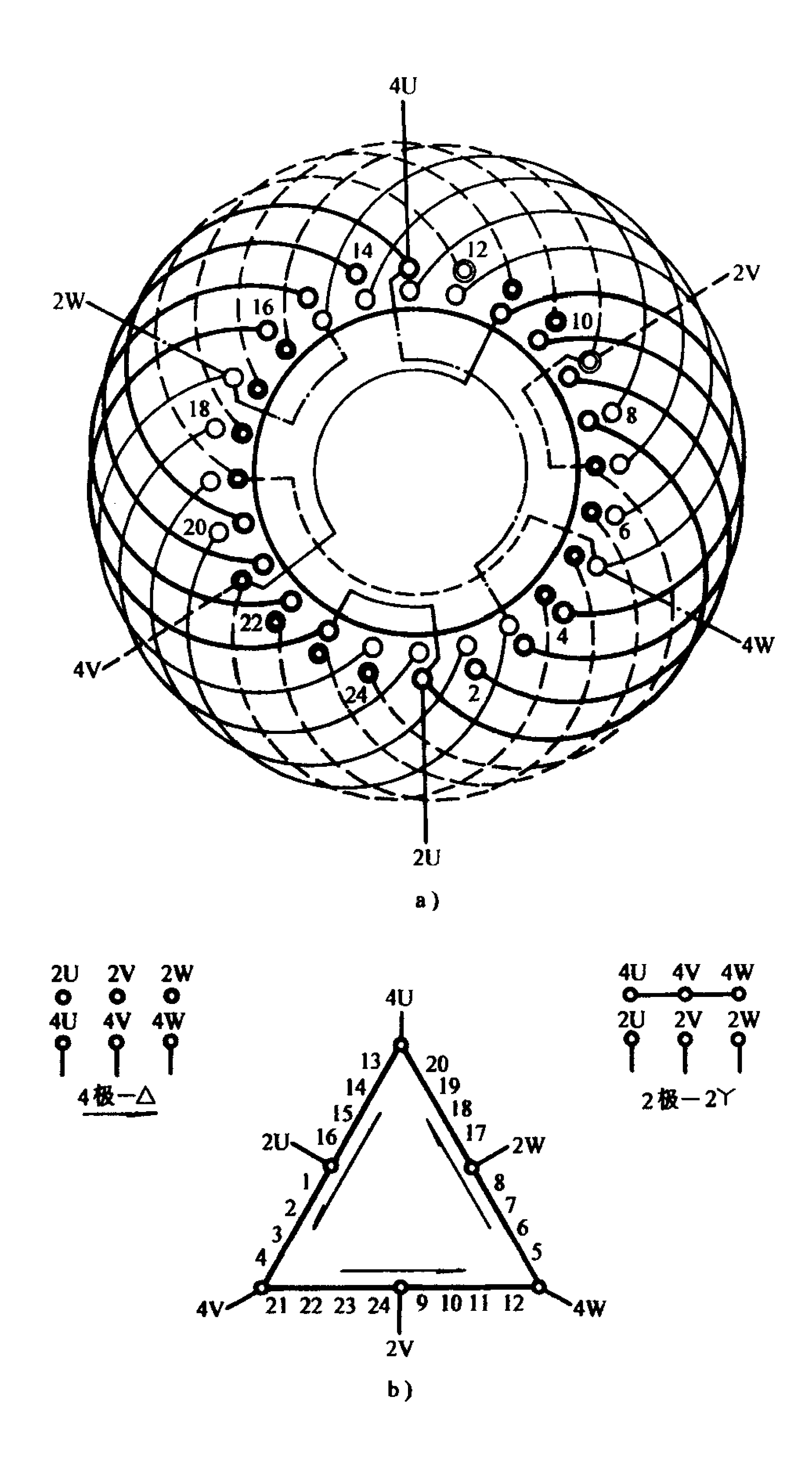


图 3-16 24 槽 4/2 极△/2 Y($y=7$)双速绕组布线接线图

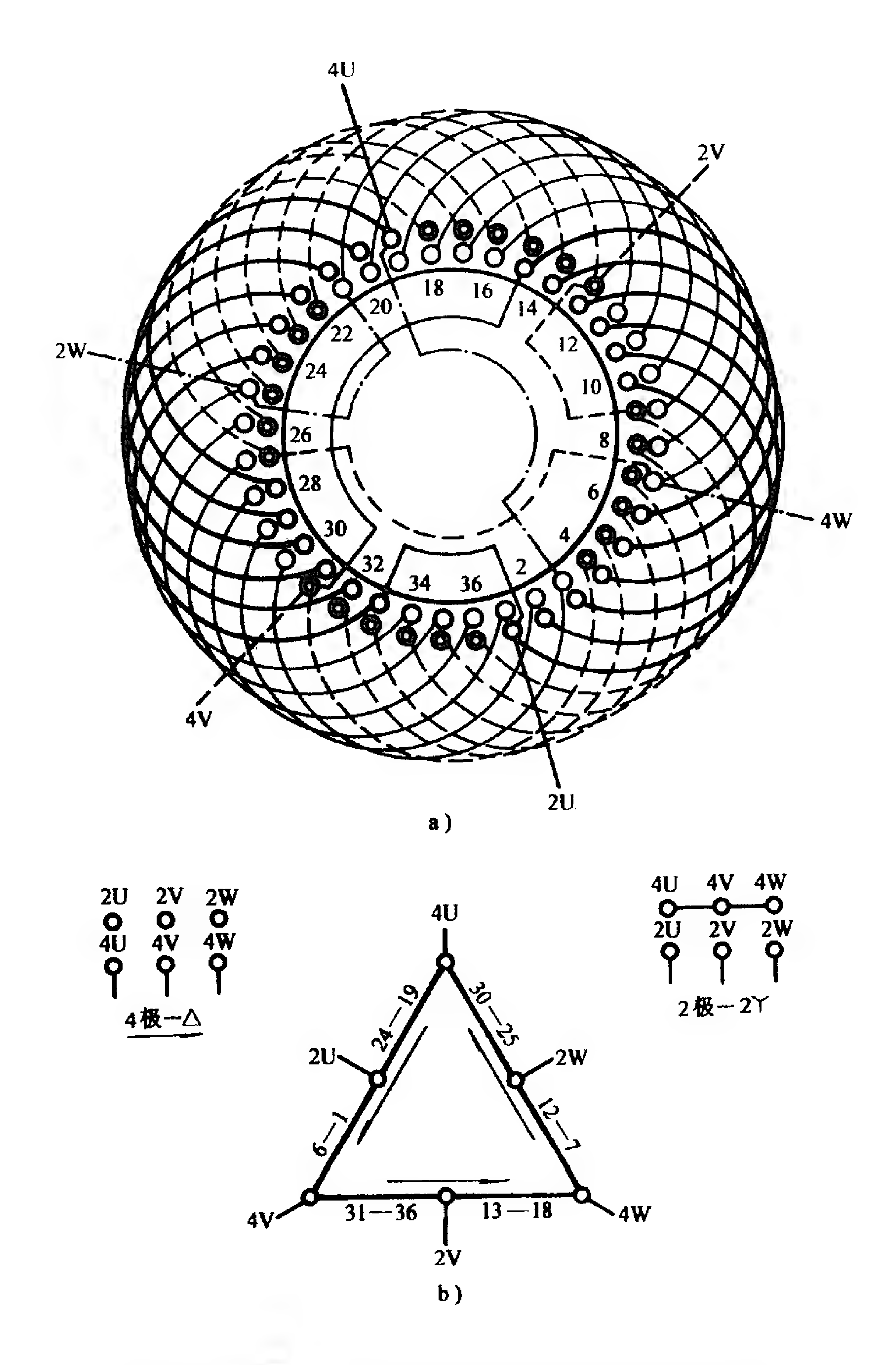


图 3-17　36 槽 4/2 极△/2 Y($y=9$)双速绕组布线接线图

四、36 槽 4/2 极△/2 Y($y=10$)双速绕组布线接线图(图 3-18)

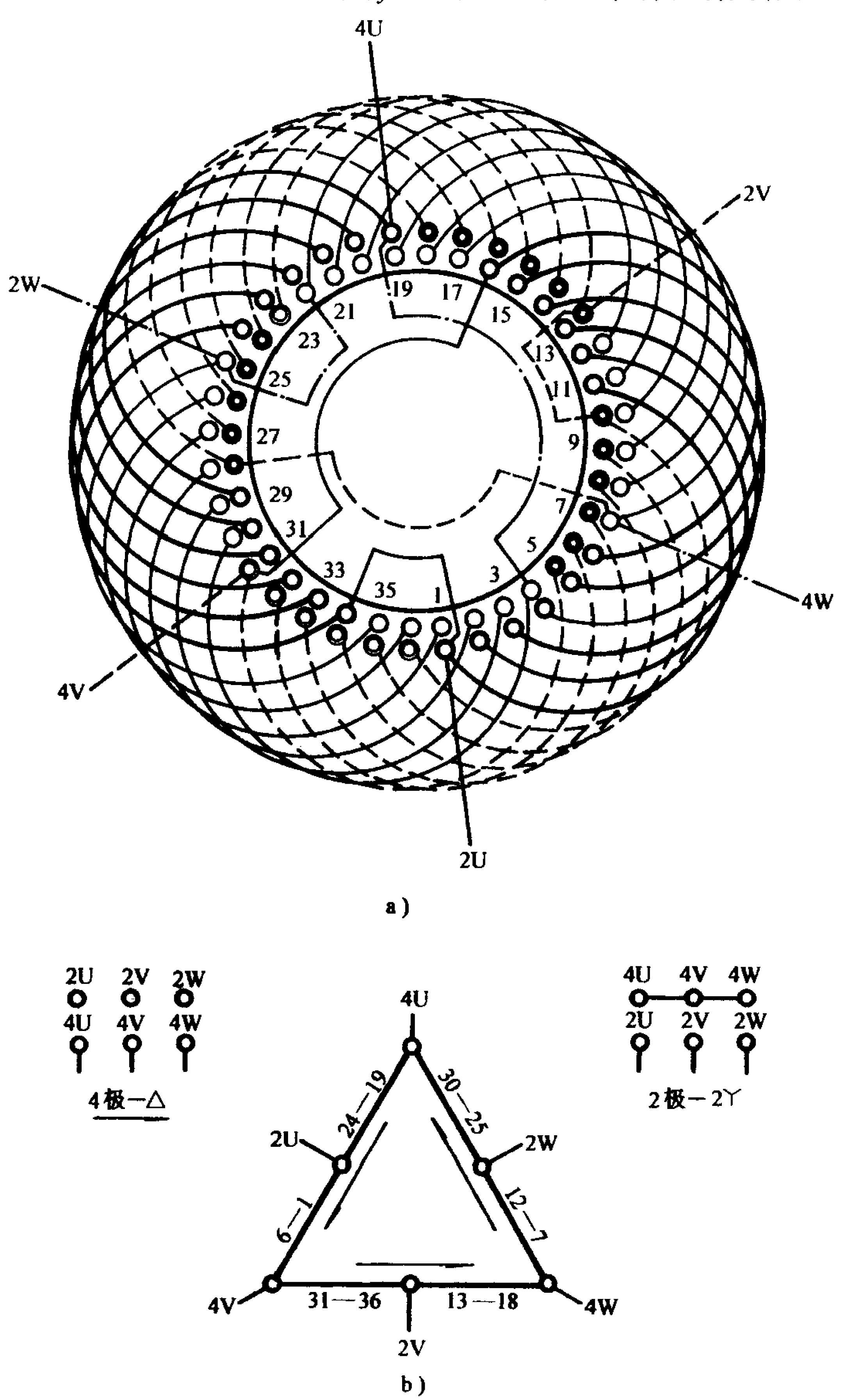


图 3-18 36 槽 4/2 极△/2 Y($y=10$)双速绕组布线接线图

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=36$　　线圈组数　$u=6$

每组圈数　$S=6$　　线圈节距　$y=10$

绕组系数　$K_{\omega2}=0.732$　$K_{\omega4}=0.818$

2. 绕组结构特点与应用举例

本例绕组特点基本同上例，是以 2 极为基准，用反向法排出 4/2 极双速绕组。绕组每组等圈数，且组数少，接线方便，但节距长一槽，2 极绕组系数略有提高，使两种极数下的绕组系数较接近。应用实例有 YD132S-4/2 等。

五、48 槽 4/2 极△/2 Y($y=12$)双速绕组布线接线图(图3-19)

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=48$　　线圈组数　$u=6$

每组圈数　$S=8$　　线圈节距　$y=12$

绕组系数　$K_{\omega2}=0.676$　$K_{\omega4}=0.831$

2. 绕组结构特点与应用举例

绕组以 2 极 60°相带为基准，庶极法得 4 极，两种转速的转向相反。每相有两个 8 联组，分置于两变极组内。4 极时是△形接法，电源从 4U、4V、4W 进入，2U、2V、2W 空置；2 极时将 4U、4V、4W 连成星点，电源从 2U、2V、2W 接入。变极绕组属变矩负载特性。产品实例有 YD180L-4/2 等。

六、36 槽 6/4 极△/2 Y($y=6$)双速绕组布线接线图(图3-20)

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=36$　　线圈组数　$u=14$

每组圈数　$S\neq$　　线圈节距　$y=6$

绕组系数　$K_{\omega4}=0.72$　$K_{\omega6}=0.88$

2. 绕组结构特点与应用举例

本例为非倍极比双速绕组，采用非正规分布方案，每变极组 6 只线圈分组各异，但同一相中，两变极组的构成则是相同的，如 V 相每变极组由 2 个单圈组和 1 个四圈组构成；而其余 U、W 相的变极组构成相同，即每变极组均由一个双圈组和一个四圈组

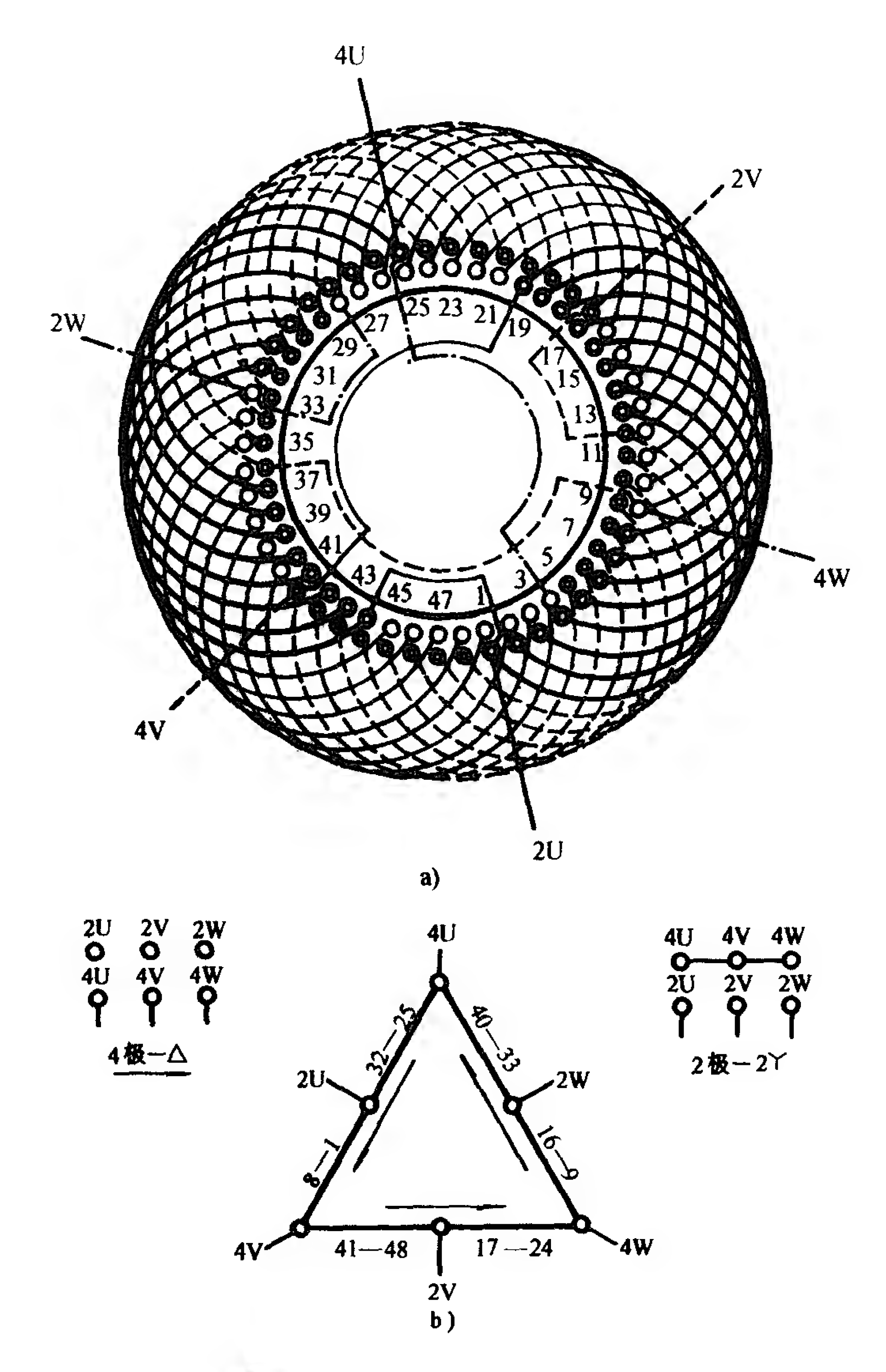


图 3-19 48 槽 4/2 极△/2 Y($y = 12$)双速绕组布线接线图

构成。由此可见，此绕组每组圈数是不相同的，有三种规格线圈组，故重绕时要注意，特别是嵌线一定要看清绕组图，否则嵌错线圈组便会造成返工，甚至会导致电动机通电烧毁。此绕组两种

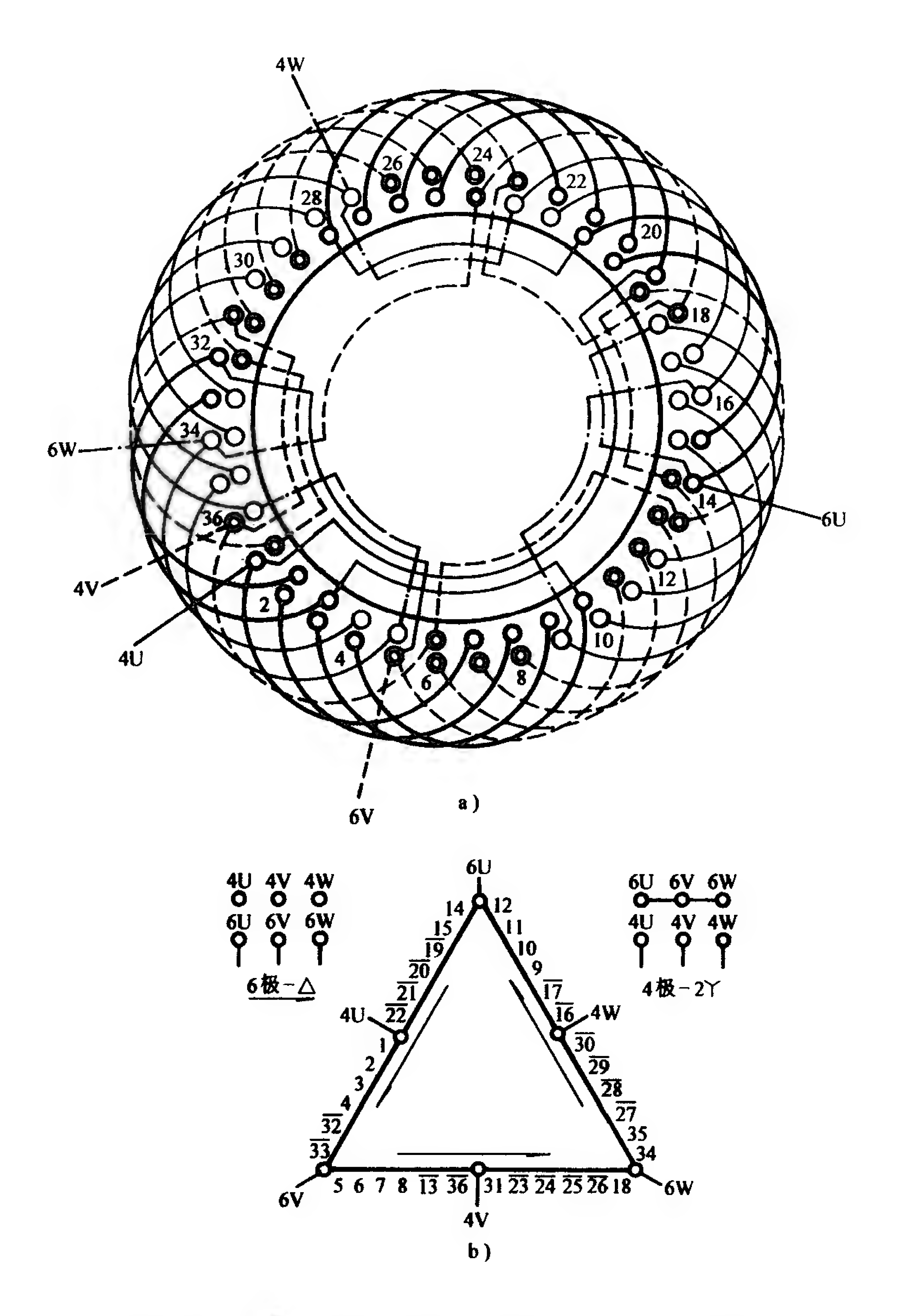


图 3-20 36 槽 6/4 极△/2 Y($y = 6$)双速绕组布线接线图

极数的绕组系数相对较高，适用于两种转速下要求输出较大功率的电动机，是6/4极双速电动机产品主要采用的变极方案。主要应用实例有YD100L1-6/4、JDO3-112S-6/4等。

七、36槽8/4极△/2Y($y=5$)双速绕组布线接线图(图3-21)

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=36$　　线圈组数　$u=12$

每组圈数　$S=3$　　线圈节距　$y=5$

绕组系数　$K_{\omega4}=0.735$　$K_{\omega8}=0.831$

2. 绕组结构特点与应用举例

绕组是反转向倍极比正规分布方案。4极是60°相带绕组，反向法得8极。每组线圈数相等，每变极组由两个三联组构成，两变极组串联成一相，三相接成一路△形出线，8U、8V、8W为电源输入端，则电动机8极运行；4极时把8U、8V、8W连成星点，电源从4U、4V、4W接入，则绕组构成二路Y形。此绕组每组线圈相等，三相包含组数也相等，故嵌线接线都较方便，是应用较多的绕组型式之一。主要实例有YD132-8/4、JDO3-112L-8/4等。

八、54槽8/4极△/2Y($y=7$)双速绕组布线接线图(图3-22)

1. 绕组结构参数

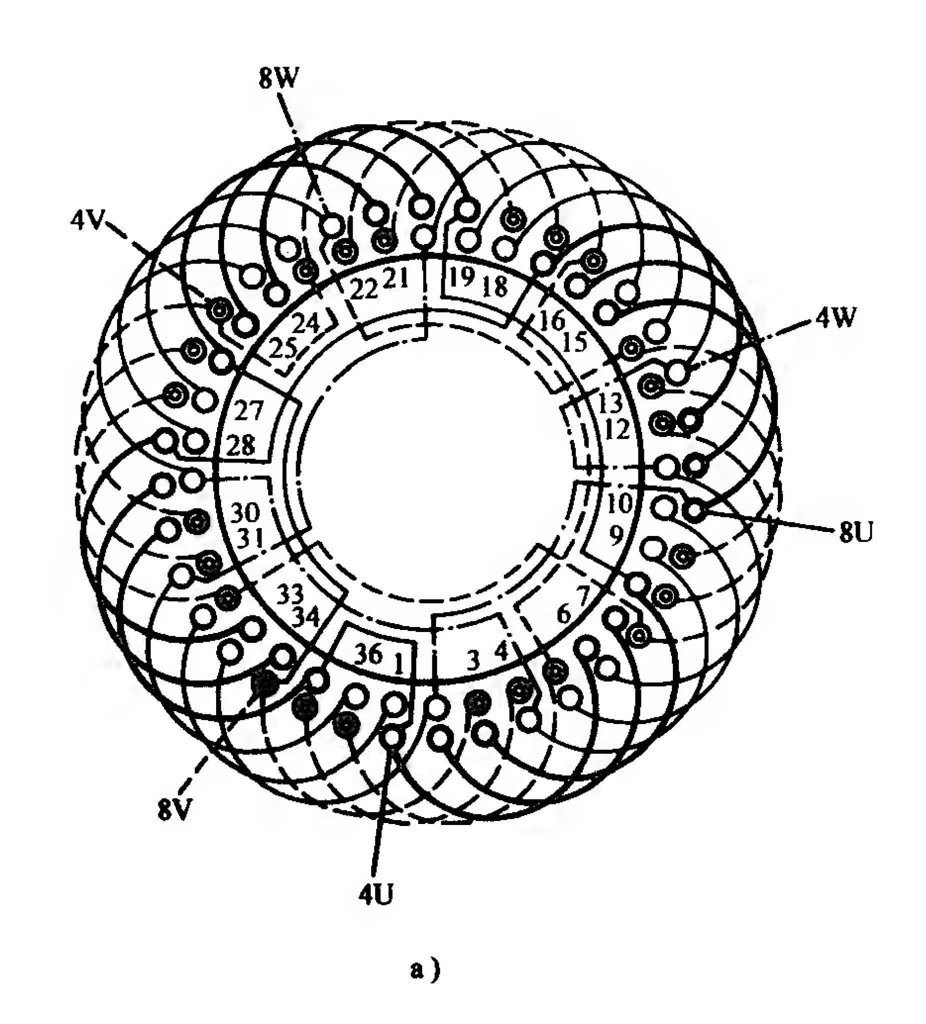
总线圈数　$Q=54$　　线圈组数　$u=12$

每组圈数　$S=4\ 1/2$　　线圈节距　$y=7$

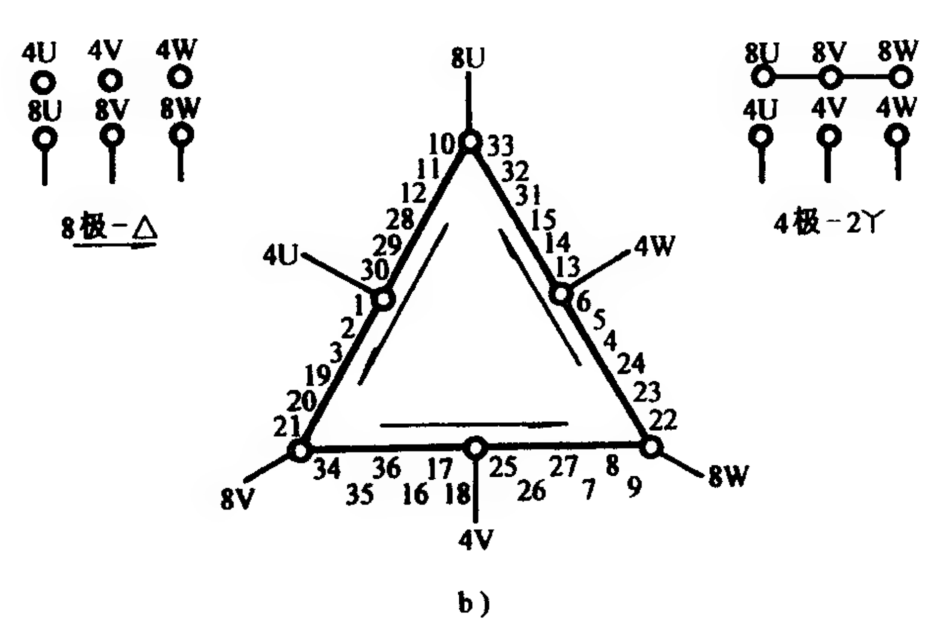
绕组系数　$K_{\omega4}=0.696$　$K_{\omega8}=0.826$

2. 绕组结构特点与应用举例

本例是分数槽倍极比正规分布变极方案，线圈组由5圈和4圈组成，但分布不能照搬普通电动机绕组的5、4、5、4分布规律，因变极绕组增加了变极组的因素，故其线圈组分布应是前5、4而后4、5，即从槽1线圈组起，具体安排是5、4、5、4、5、4，4、5、4、5、4、5。故嵌线时要特别注意，否则就可能造成两并联支路不平衡。本方案是以4极为基准，反向法得8极。应用实例有YD180L-8/4、JDO3-180M1三速配套8/4极绕组等。



a)



b)

图 3-21　36 槽 8/4 极△/2 Y($y=5$)双速绕组布线接线图

九、36 槽 8/6 极△/2 Y($y=4$)双速绕组布线接线图(图 3-23)

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=36$　　　　线圈组数　$u=24$

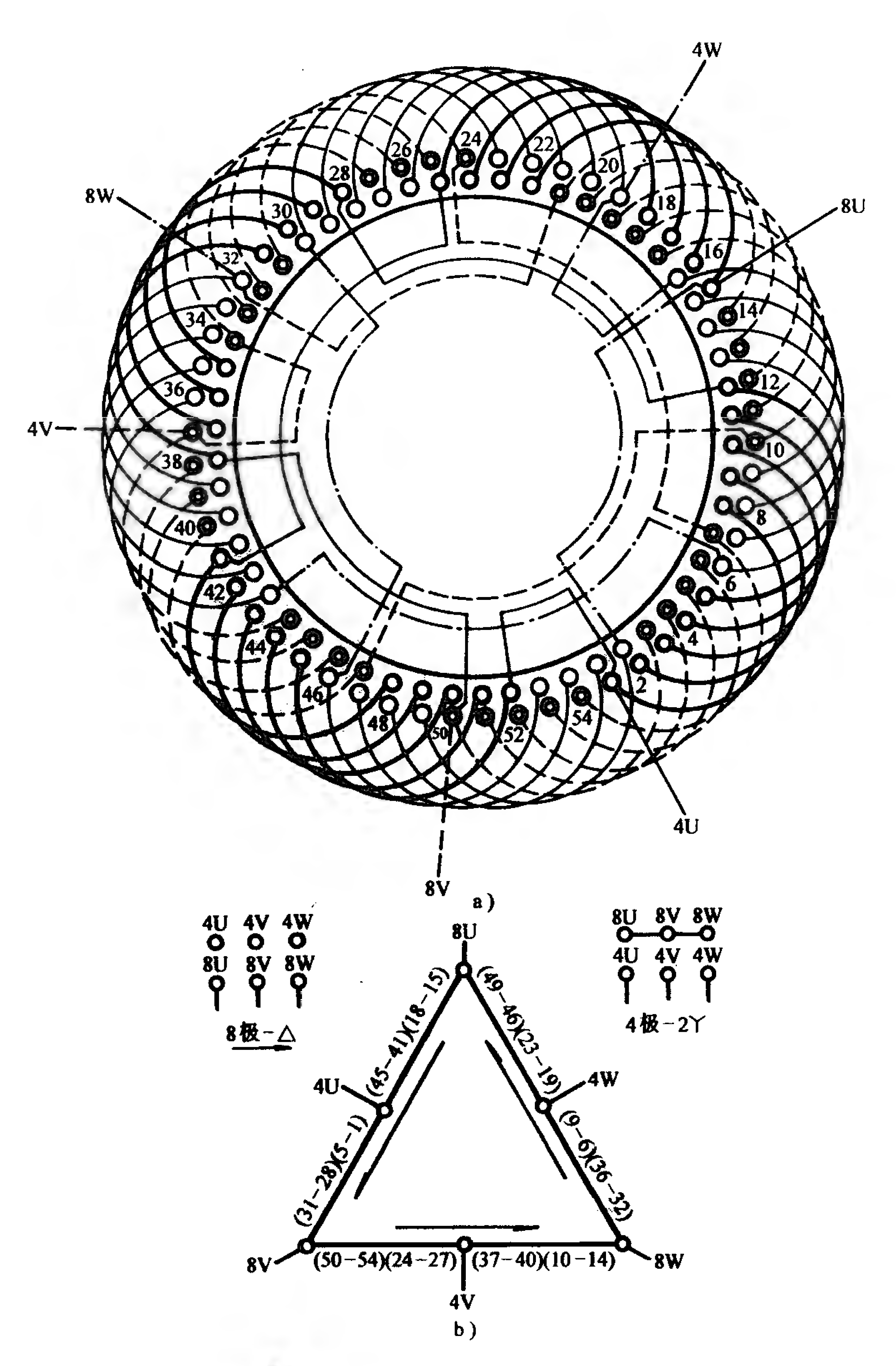


图 3-22 54 槽 8/4 极△/2 Y($y=7$)双速绕组布线接线图

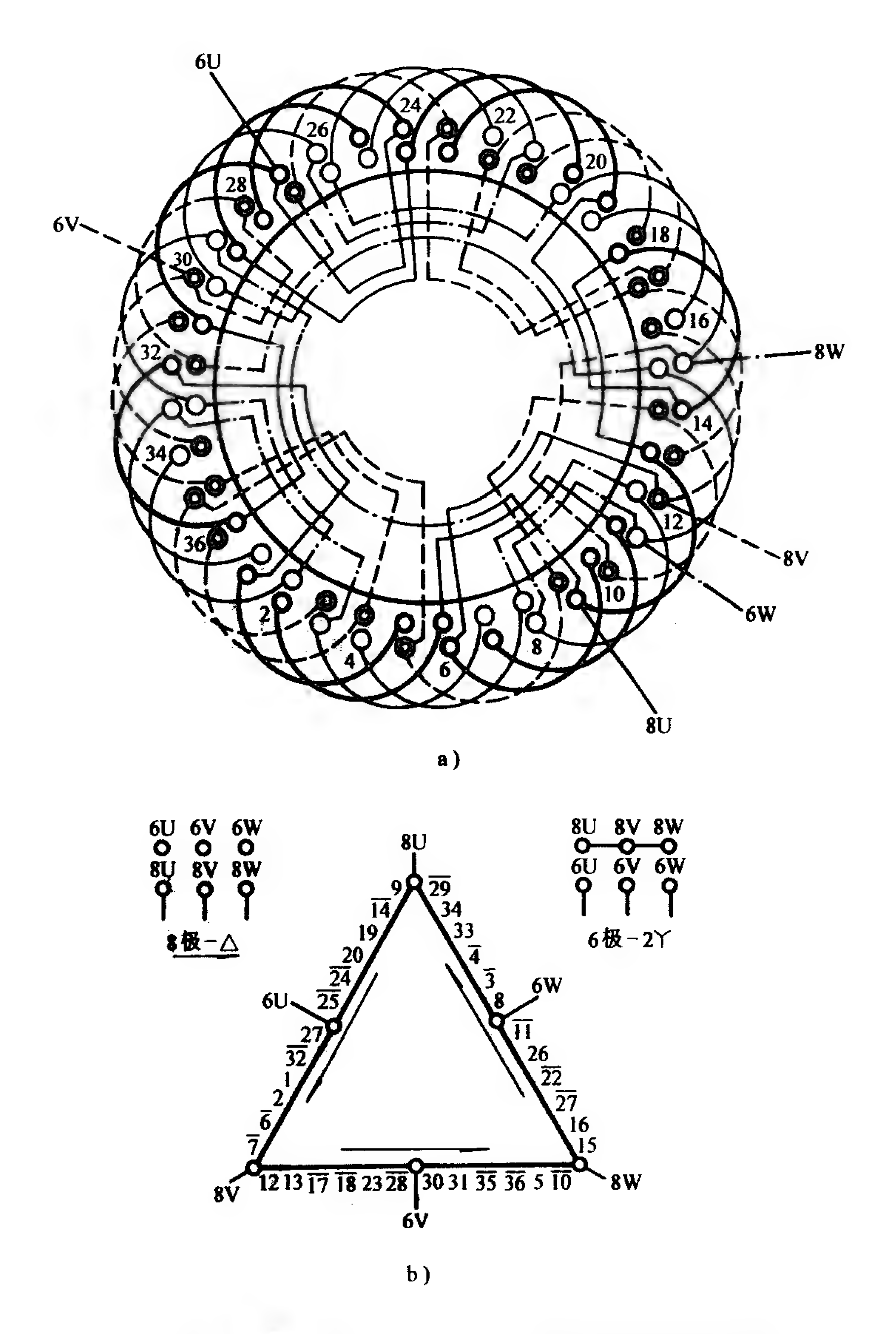


图 3-23　36 槽 8/6 极△/2 Y($y=4$)双速绕组布线接线图

每组圈数　$S\neq$　　　　线圈节距　$y=4$

绕组系数　$K_{\omega 6}=0.726$　$K_{\omega 8}=0.819$

2. 绕组结构特点与应用举例

本例绕组变极时转向相同。属非倍极比不规则分布方案，每组线圈数不等，绕组由单圈和双圈组构成，每变极组均由两个单圈和两个双圈组构成，而每相各线圈组人为分布为 2、4、4、2，故两种极数的绕组系数较正规分布高。绕组适合于要求两种转速下功率输出较接近的场合。主要应用实例有 YD132M-8/6 等。

十、36 槽 8/6 极△/2 Y($y=5$)双速绕组布线接线图(图 3-24)

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=36$　　　　线圈组数　$u=24$

每组圈数　$S\neq$　　　　线圈节距　$y=5$

绕组系数　$K_{\omega 6}=0.85$　$K_{\omega 8}=0.819$

2. 绕组结构特点与应用举例

本例绕组特点同上例，但线圈节距放长一槽，使两种极数下的绕组系数更接近，双速电动机的输出特性更趋向于等矩输出。由于每组圈数不等，嵌线和接线都要依图而作，如嵌线起始圈与接线起始圈不一致，也将导致接线错误，故操作时要特别注意。绕组应用实例有 YD100L-8/6 等。

十一、36 槽 12/4 极 Y/3 Y($y=8$)双速绕组布线接线图(图 3-25)

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=36$　　　　线圈组数　$u=36$

每组圈数　$S=1$　　　　线圈节距　$y=8$

绕组系数　$K_{\omega 4}=0.62$　$K_{\omega 12}=0.75$

2. 绕组结构特点与应用举例

本例变极比 12/4＝3，在国内产品中均无此例，故属新近出现的特殊型式。绕组 12 极是一路 Y 形，4 极是三路 Y 形，变极时只将 1/3 线圈反向，这与通常的变极方法有较大出入。此绕组每组圈数为 1，每相 12 只线圈分成三个变极组，每变极组 4 圈，

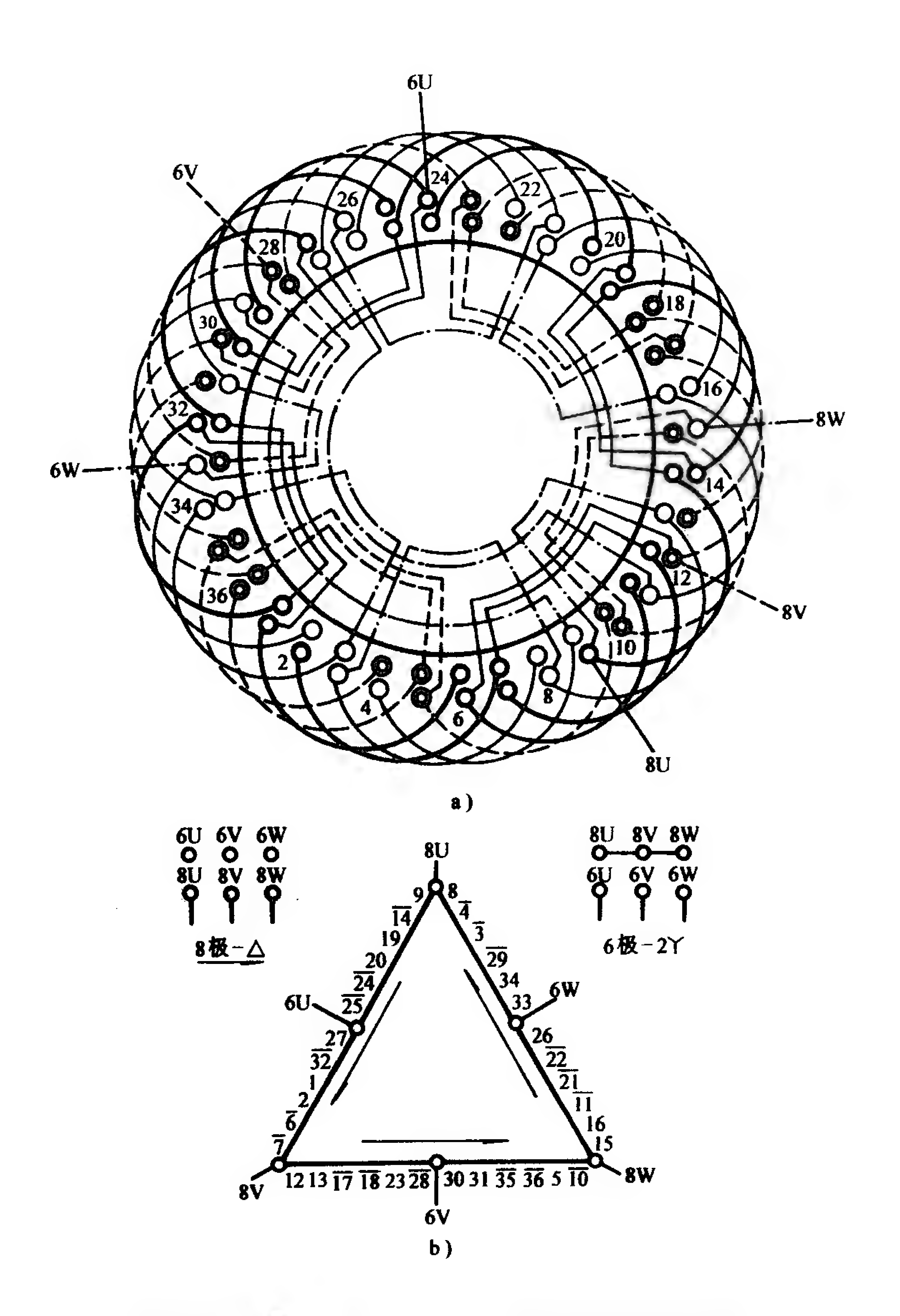


图 3-24　36 槽 8/6 极△/2 Y($y=5$)双速绕组布线接线图

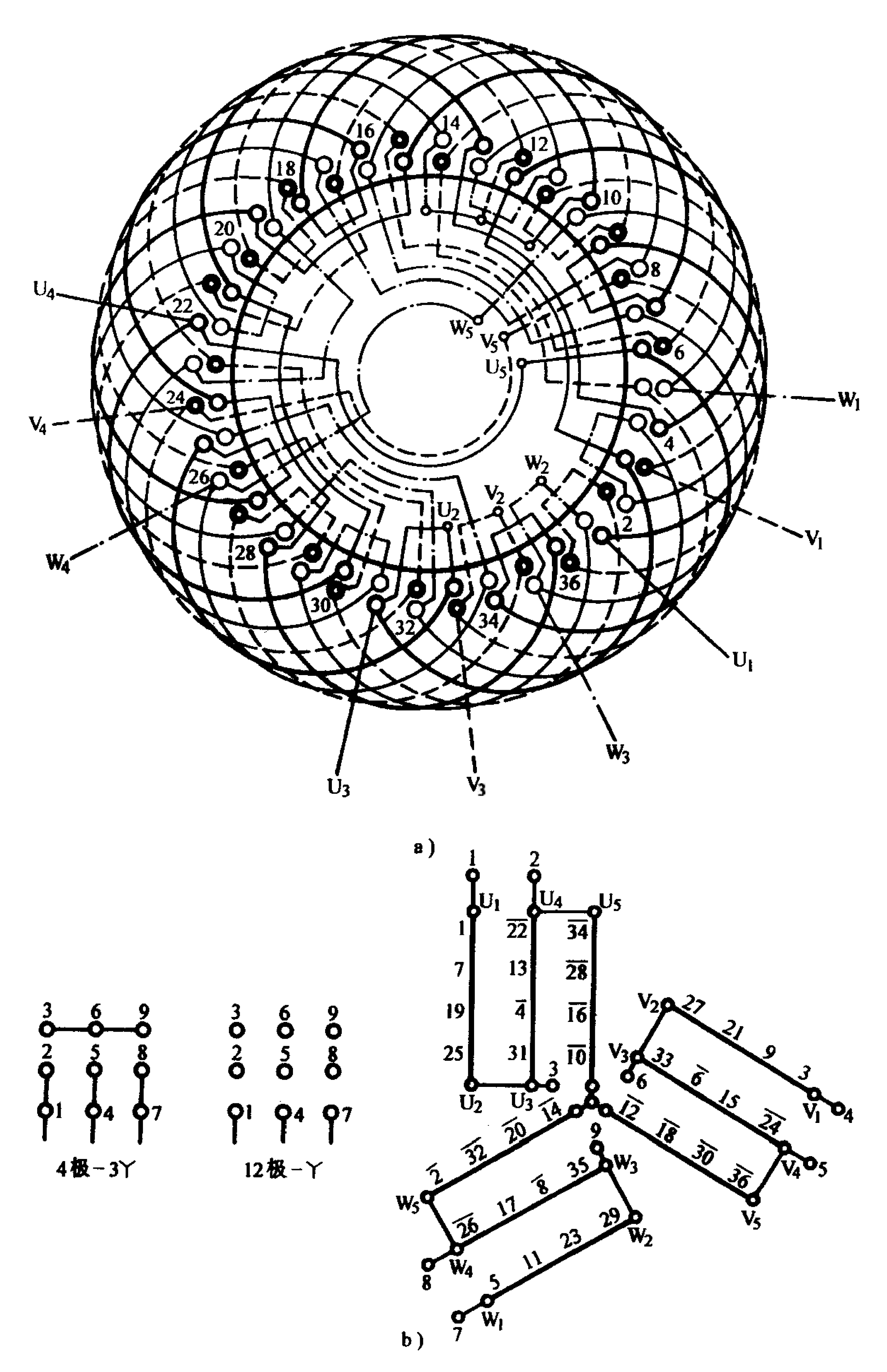


图 3-25　36 槽 12/4 极 Y/3 Y（$y=8$）双速绕组布线接线图

其中一变极组的线圈全部为正，且变极不反向；另一变极组则2正2反，变极时则要反向；再一变极组也不需反向，但极性全部为负。其接线比较复杂，详细情况可参看上节内容介绍。此绕组引出线9根。应用于中外合资电梯用电动机。

十二、36槽12/6极△/2Y($y=3$)双速绕组布线接线图(图3-26)

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=36$　　线圈组数　$u=18$
每组圈数　$S=2$　　线圈节距　$y=3$
绕组系数　$K_{\omega6}=0.683$　$K_{\omega12}=0.866$

2. 绕组结构特点与应用举例

绕组是倍极比正规分布变极，以6极为基准排出60°相带绕组，反向获得12极。绕组由双圈组构成，每变极组有三个双圈组。绕组结构比较简单，嵌线接线都较方便，但高速挡绕组系数偏低而影响输出功率。此绕组属可变转矩输出特性反转向方案。主要用于小容量电动机，应用实例有YD160M-12/6、YD160L-12/6等。

十三、54槽12/6极△/2Y($y=5$)双速绕组布线接线图(图3-27)

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=54$　　线圈组数　$u=18$
每组圈数　$S=3$　　线圈节距　$y=5$
绕组系数　$K_{\omega6}=0.735$　$K_{\omega12}=0.831$

2. 绕组结构特点与应用举例

绕组是倍极比正规分布反转向变极方案。6极是显极布线60°相带绕组，12极为庶极120°相带绕组。绕组全部由三圈组构成，由于每组圈数相同，线圈节距也短，嵌绕操作都比较方便。本例属可变转矩特性，但接近于恒功率输出。主要应用实例有YD180L-12/6、JDO3-160S-12/6等。

十四、72槽24/6极Y/2Y($y=9$)双速绕组布线接线图(图3-28)

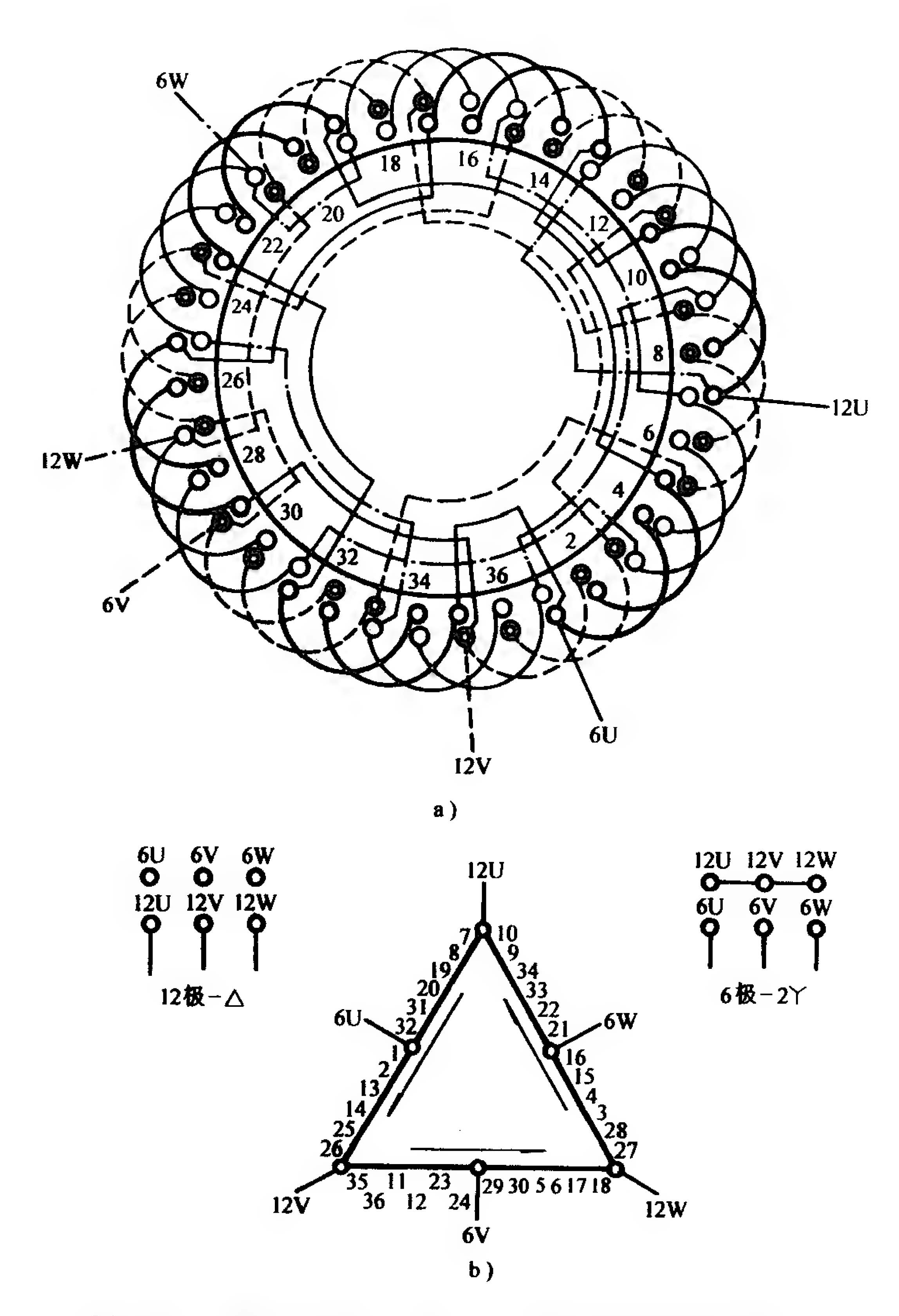


图 3-26 36 槽 12/6 极△/2 Y($y=3$)双速绕组布线接线图

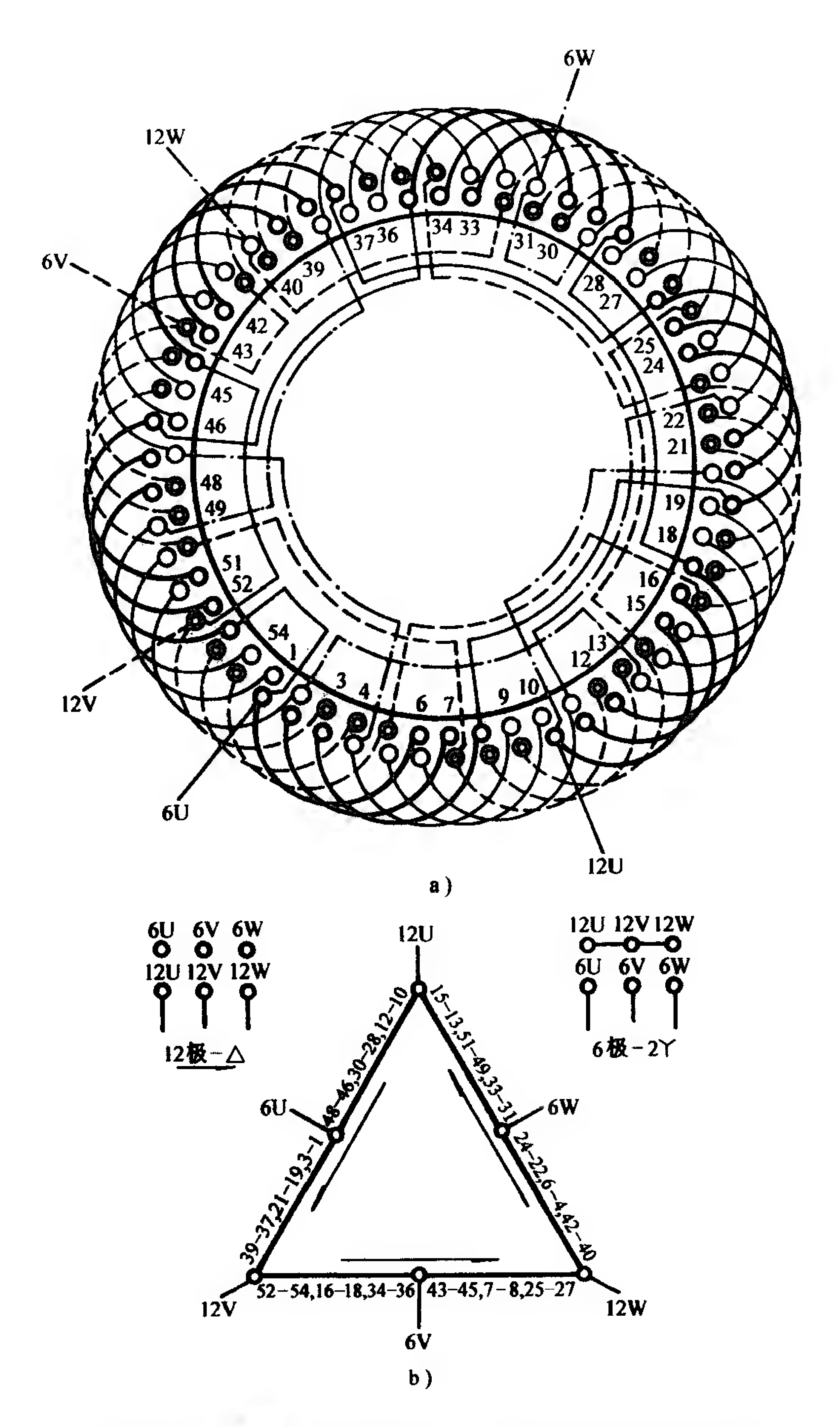


图 3-27 54 槽 12/6 极△/2 Y($y=5$)双速绕组布线接线图

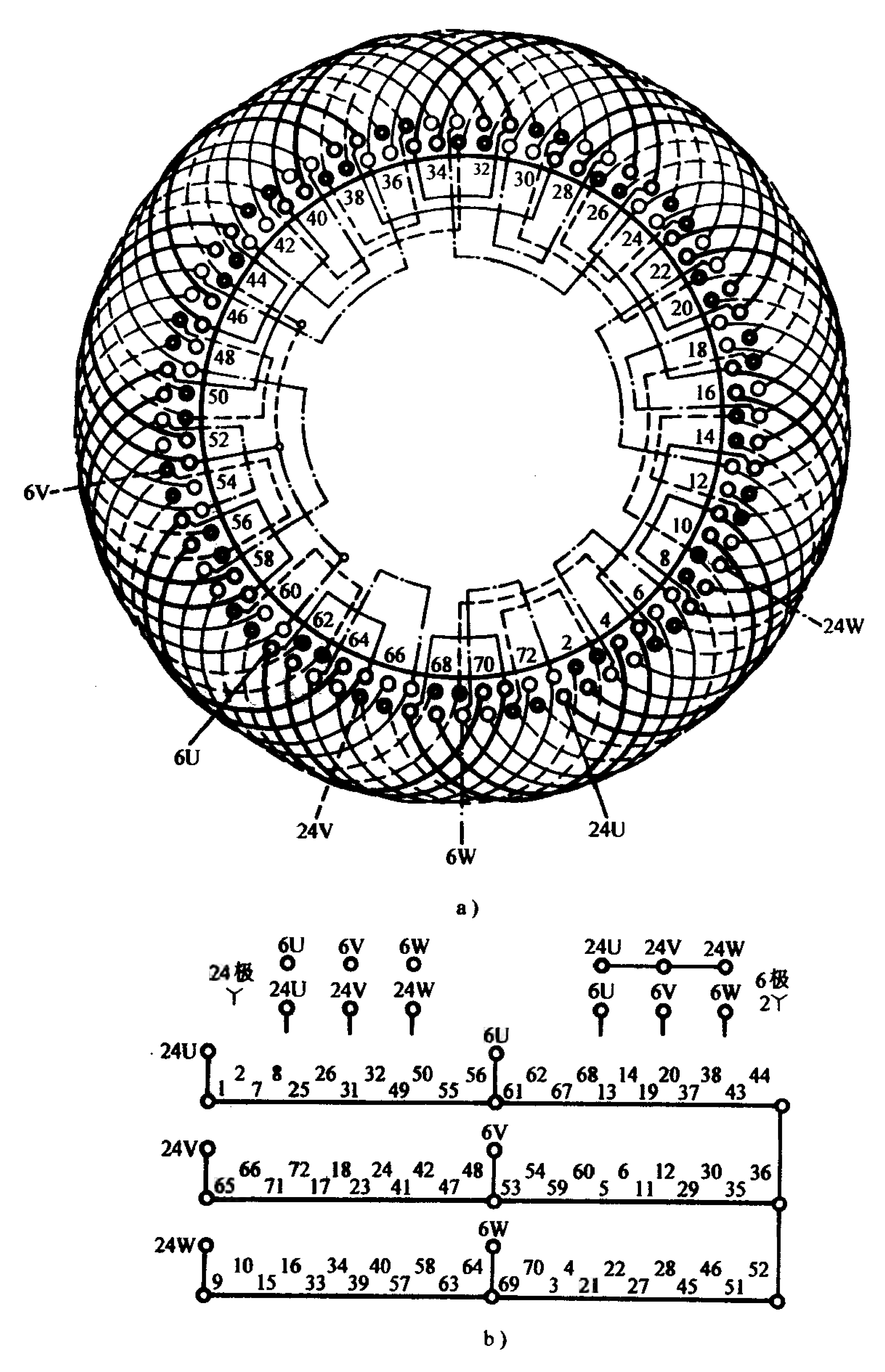


图 3-28　72 槽 24/6 极 Y/2 Y($y=9$)双速绕组布线接线图

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=72$　　线圈组数　$u=36$

每组圈数　$S=2$　　线圈节距　$y=9$

绕组系数　$K_{\omega 6}=0.648$　$K_{\omega 24}=0.866$

2. 绕组结构特点与应用举例

本例是正规分布的反向变极绕组，但以庶极布线的24极为基准，用反向法排出6极绕组。绕组由双联线圈组构成，6组双联串联成一变极组，每相有两变极组。当24极时两变极组串联，三相接成一路Y形；若转换到6极，则三相改接成二路Y形，使一变极组线圈反向。此变极绕组的接线是72槽24/6极中最简单的接法，但6极绕组系数较低，将影响电动机负载能力，故在新产品中，为提高绕组系数，已采用接线复杂的变极绕组。此绕组用于电梯电动机，通常用6极作正常运行，24极仅用于短时(3min)工作。主要应用实例有JTD-333、JTD-430等。

十五、72槽32/8极Y/2Y($y=7$)双速绕组布线接线图(图3-29)

1. 绕组结构参数

总线圈数　$Q=72$　　线圈组数　$u=72$

每组圈数　$S=1$　　线圈节距　$y=7$

绕组系数　$K_{\omega 8}=0.618$　$K_{\omega 32}=0.755$

2. 绕组结构特点与应用举例

本绕组是新近出现的双速型式，它的每极相槽数 $q<1$，在普通电动机中也不多见，本人所及也仅见于JG系列一例。而本例 $q=3/4<1$，即每相要用24只线圈构成32极，为此，绕组必须安排部分线圈形成庶极，从而形成显极与庶极混合存在的特殊绕组型式。

本例绕组的极数变换与形成以及接线有其一定规律，详细情况可参照上节内容叙述。此外，本绕组采用线圈节距 $y=7$，在重绕修理时不宜更改，否则将可能造成性能变差，甚至不能形成相应的极数。此绕组实际应用于合资电梯厂家电动机。

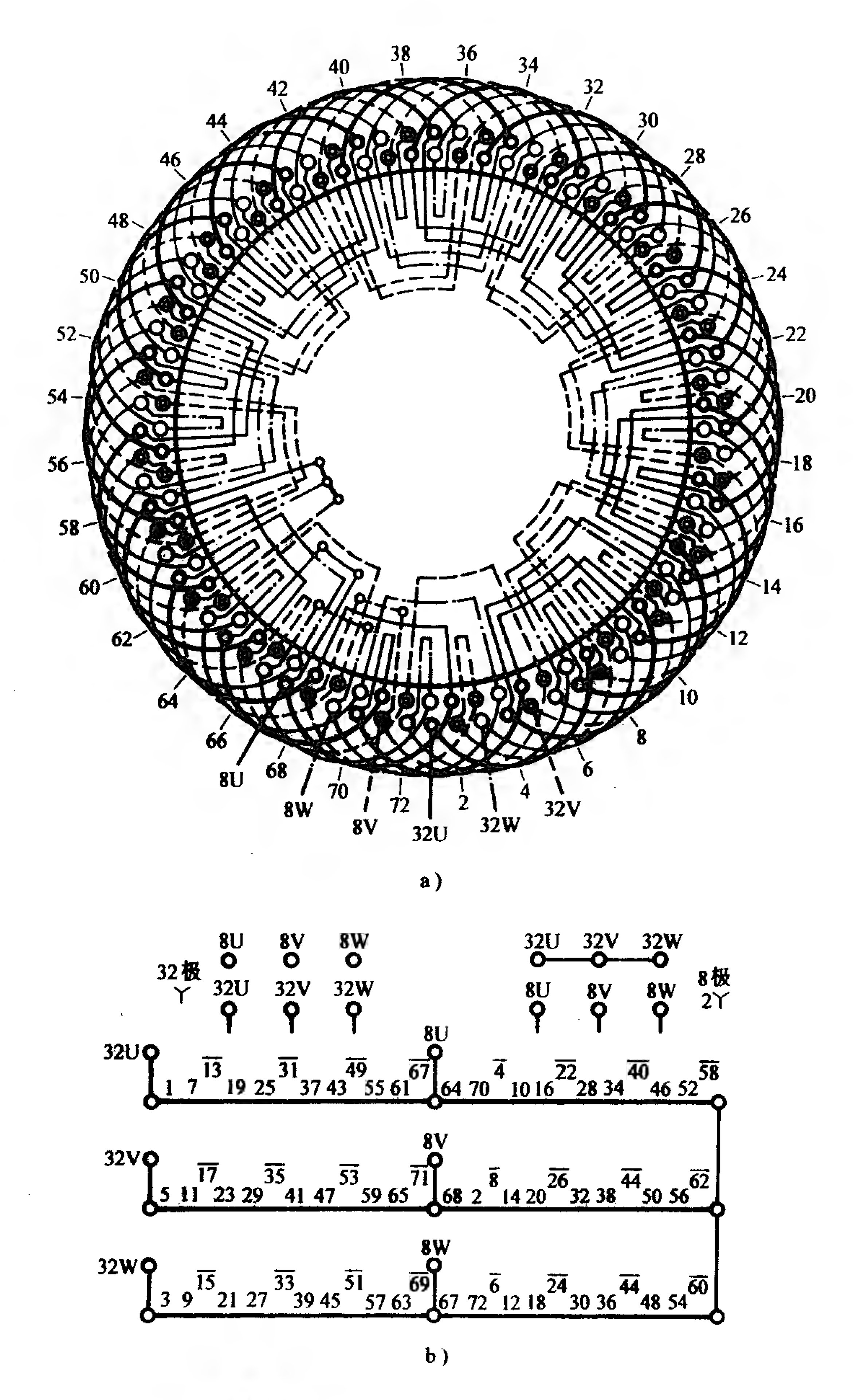


图 3-29 72 槽 32/8 极 Y/2 Y($y=7$)双速绕组布线接线图

第四章　电动机重绕修理程序与工艺

第一节　中小电机修理常用材料

电机结构所含材料的种类繁多，包括磁路系统的导磁材料、电磁系统的导电材料、隔离电路的绝缘材料、制造外壳的金属材料以及其他附件制作的导电用或绝缘用的金属或非金属材料等。然而作为普通中小型电机修理来说，主要使用材料有两类：

一、导电材料

任何物质都具有导电性，但通常仅把导电性良好的物体称为导体。然而，电机绕组采用的导电材料是带绝缘外皮的铜导线或铝导线，而因工艺条件所限，一般在修理中主要使用铜导线，即通常所称的电磁线。

电磁线是外层有绝缘的铜(或铝)导线，用于绕制电机绕组的线圈。电磁线的导电线芯有圆形、扁形及带状等，对于中小电机绕组修理，通常使用的是圆心线。

1. 电磁线的种类

电磁线根据包覆绝缘层材料的不同而可分为漆包线、绕包线、无机绝缘线和特种电磁线等。在电机绕组中使用前两种，而中小电机绕组则主要用漆包电磁线。

(1) 漆包线　它是在导电线芯的外层涂覆绝缘后烘干而成。其特点是绝缘层较薄，且漆膜均匀、光滑，便于线圈自动绕制和嵌线操作，而且能提高电机槽面积的有效利用率。因此，是电机绕组首选的电磁线品种。

(2) 绕包线　它是以天然丝　玻璃丝、绝缘纸或合成树脂薄膜为绝缘材料，紧密绕包在导电线芯上的绝缘导线。除树脂绝缘

外，其他绕包线都要经胶粘绝缘漆的浸渍处理后使用，实际上应属组合绝缘绕包线。由于处理后的隔电性能提高，绝缘层相对较厚，所以，一般用于大中型电机绕组。

(3) 特种电磁线　为特殊场合专用而采用相应的特殊绝缘层的电磁线。主要用于高温、高湿、低温及防腐等特殊环境的电机或电器绕组。

由于电动机使用条件不同，对所选用的电磁线也有着不同的性能要求，所以修理电机时，除非客户提出要求，为保证修理质量，一般都应参照原来导线绝缘性质进行修复，不宜随意改换导线。

2. 漆包线的性能

由于中小电机所用的电磁线主要是漆包线，下面着重介绍漆包线的性能。

(1) 导电性能　电磁线要求有合格的电导率，一般正规产品都能满足此要求。对某些重要的电机，为确保修理质量，不妨在绕制线圈前取一段相当长度的导线，用电桥测量电阻值，再换算到20℃时的直流电阻与标准导线对照，不应有过大的偏差。

(2) 绝缘性能　绝缘性能是漆包线首要的技术指标，它包括漆膜击穿电压和介质损耗因数，是衡量漆膜所能承受过电压的能力和热稳定性，主要因素取决于漆膜的材质和厚度。正规厂家的产品一般都能符合要求。

(3) 力学性能　它要求漆膜要耐刮，且具有弹性、柔软，同时不能有大的伸长率。

(4) 耐热性能　耐热性能与漆膜厚度和制作工艺因素有关。受热会使漆膜弹性变差、容易老化、产生破裂而降低绝缘性能。因此，耐热性是反映长期正常工作容许温度下，漆膜不致过速老化的特性。所以，漆包线有各种不同的耐热等级产品，例如，QQ-1、QQ-2是耐热为120℃(E级)的缩醛漆包圆铜线；QZY-1是耐热155℃(F级)产品。所以，要根据电机的绝缘(耐热)等级去选用相应的漆包线。

（5）耐腐性能　漆膜承受化学物质的侵蚀的能力称为漆包线的耐腐性能。它主要取决于漆膜的性质和着漆工艺。在实用中应注意漆包线品种的漆膜与溶剂的相容性。例如，Q型油性漆包线一般宜用相容性较好的松节油为溶剂的绝缘漆，不宜用苯类溶剂漆，否则会造成漆膜损坏而引发短路故障。

（6）可焊性　电机绕组的导线必须具有良好的焊接性能，如果可焊性差，容易出现虚焊等质量问题，轻者在运行中发热，严重时发生断路故障。一般而言，铜线的可焊性远比铝线好，铜导线加热后可用锡焊接而获得较好的焊接质量，而铝线则不能用锡焊，它需要专用设备才能焊接，而一般修理站不具备此条件，故电机修理中，通常都用铜线代替铝线。

3. 漆包线的品种

漆包线的品种主要有如下几类：

（1）油性漆包线　主要产品是Q型漆包线，耐热等级为A级，特点是漆膜均匀，介质损耗因数小，且价格较低，但漆膜的化学、力学性能都较差。目前在电机绕组上极少采用。

（2）聚氨酯漆包线　主要包括QA-1、QA-2等品种，耐热性为E级，特点是漆膜着色性好，可制成不同颜色的漆包线，而且可直接焊接而无需刮去漆膜，主要用于仪表及多绕组抽头的微电机。

（3）缩醛漆包线　主要包括QQ-1、QQS-1、QQB等品种。耐热等级为E级。它具有良好的耐刮性、耐水性和热冲击性，可用于一般用途中小型电机和电动工具电动机绕组，但由于绕制线圈会产生卷绕应力，故需加热120℃历时1h以上，以待应力消除才可浸漆。

（4）聚酯漆包线　主要有QZ-1、QZS-1、QZB等品种。耐热等级为B级，它具有优良的耐电压冲击性能，但耐水性差，所以是目前封闭式中小电机绕组用线的主要品种。

（5）聚酯亚胺漆包线　主要品种有QZY-1、QZYB等。耐热等级是F级。它具有优良的耐压强度，但易水解，且会与含氯高

分子化合物不相容，故使用时要注意选用绝缘物，适用于高温制冷装置的电机绕组。

（6）特种漆包线　其品种很多，如 QAN、QH、QXY、QF 等。因其性能各异，一般作专门用途。其中 QF 型是耐致冷剂漆包线，耐热等级为 A 级，专门用于致冷剂型(如电冰箱等)电动机的绕组。

4. 漆包线的型号

电机修理常用漆包线的型号及规格范围见表 4-1。

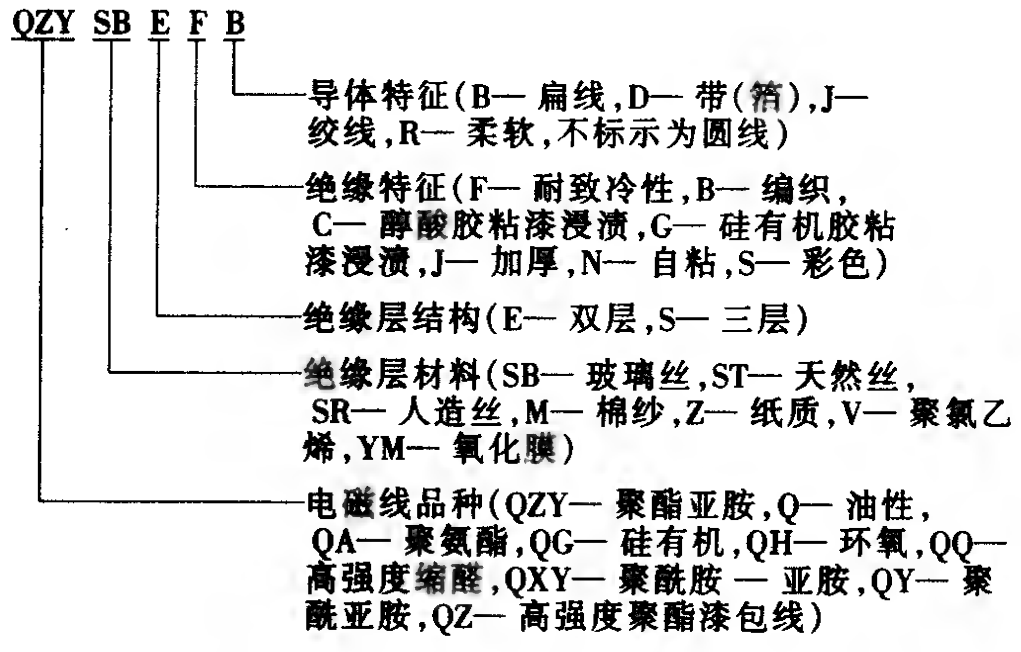
表 4-1　绕组常用电磁线型号

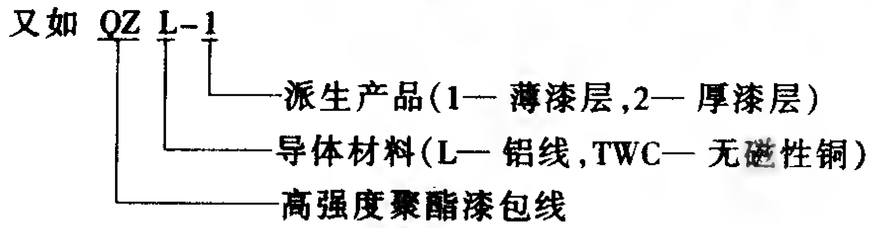
序号	绝缘等级	名　　称	型　　号	规格范围/mm
1	E (120℃)	缩醛漆包圆铜线	QQ-1、QQ-2	0.02 ~ 2.50
		缩醛漆包彩色线	QQS-1、QQS-2	
		聚氨酯漆圆铜线(包括彩色)	QA-1、QA-2	0.015 ~ 1.00
		环氧漆包圆铜线	QH-1、QH-2	0.06 ~ 2.50
		单玻璃丝包缩醛漆包圆铜线	QQSBC	0.53 ~ 2.50
		缩醛漆包扁铜线	QQB	a 边 0.8 ~ 5.6 b 边 2.0 ~ 18
2	B (130℃)	聚酯漆包圆铜线	QZ-1、QZ-2	0.02 ~ 2.50
		聚酯漆包圆铝线	QZL-1、QZL-2	0.06 ~ 2.50
		聚酯漆包彩色线	QZS-1、QZS-2	
		聚酯漆包自粘性电磁线	QZN	
		单玻璃丝包聚酯漆包圆铜线	QZSBC	0.53 ~ 2.50
		双玻璃丝包圆铜线	SBEC	0.25 ~ 6.0
		聚酯漆包扁铜线	QZB	a 边 0.8 ~ 5.6 b 边 2.0 ~ 18
		单玻璃丝包聚酯漆包扁铜线	QZSBCB	a 边 0.9 ~ 5.6 b 边 2.0 ~ 18
		双玻璃丝包聚酯漆包扁铜线	QZSBECB	a 边 0.9 ~ 5.6 b 边 2.0 ~ 18

（续）

序号	绝缘等级	名　　称	型　　号	规格范围/mm
3	F（155℃）	聚酯亚胺漆包圆铜线	QZY-1、QZY-2	0.06～2.50
		单玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYSBFB	
4	H（180℃）	聚酰亚胺漆包圆铜线	QY-1、QY-2	0.02～2.50
		聚酰胺酰亚胺漆包圆铜线	QXY-1、QXY-2	0.06～2.50
		硅有机双玻璃丝包圆铜线	SBEG	0.25～6.0
5	C（≥180℃）	聚酰胺酰亚胺漆包圆铜线	QXY-1、QXY-2	0.06～2.50
		聚酰亚胺漆包圆铜线	QY-1、QY-2	0.02～2.50
		聚酰亚胺薄膜绕包圆铜线	Y	

电磁线的型号主要包含绝缘层和导体材质与特性。型号的命名系以汉语拼音字母代号表示，如下例：



又如 

此型号表示是薄漆层高强度聚酯漆包铝线。

5. 漆包线的选用

漆包线的选用要根据电动机型式(如封闭式或开启式等)以及

使用条件(如高温、防腐、耐冷、耐水、耐油)等因素以及考虑重绕工艺性进行选用。

此外，为保证电机重绕质量，线圈绕制前要对所用漆包线进行质检。车间现场一般只作外观检查，首先是检查线的型号及规格是否与所选相同，并用肉眼或借助放大镜观察漆包线表面是否清洁(如无油污)、表面光滑无氧化、无擦伤、无裂痕等，再用千分尺测量线径正确，然后再用双手拇指和食指捏住漆包线一点来回弯曲四次，如漆膜无脱落或变色，则视为合格。

二、绝缘材料

绝缘材料又称电介质，它是使带电体与其他带电或不带电部件相互隔离的不导电材料，是电机修理中的重要材料。绝缘材料的品种很多，在电机方面主要是固体材料，如绝缘纸、绝缘纤维编织物、高分子化合物及其复合绝缘制品和绝缘漆等。

（一）绝缘材料的性能

如前所述，任何物质都有其导电性，所以绝缘材料也不是绝对不导电的，只是其电阻极大而导电性极微弱，即当其电阻率大于 $10^{-9}\Omega\cdot cm$ 时，称作绝缘材料。绝缘材料具有如下特性：

（1）绝缘材料是导电性极差的导电体，其性质属离子性导电；

（2）绝缘材料会因水分入侵(受潮)而使电阻降低；

（3）绝缘材料在温度升高时，绝缘电阻会随之下降；

（4）绝缘材料在电压作用下，电介质中的部分电能要转变成热损耗，当能量积累到一定程度，便容易发生“热击穿”；

（5）当固体绝缘一旦被击穿，就不能自行恢复，故其绝缘性能是不可逆的；

（6）绝缘材料有电流吸收现象，它与绝缘吸潮程度有关，因此，电机绕组的受潮情况常利用绝缘电阻吸收比作判断。

（二）绝缘材料的耐热等级

绝缘材料耐热等级也称绝缘等级。电动机绕组通过电流则温度会升高，当温度超过某极限时，绕组的绝缘物便加速老化而发生热击穿。因此，电机绝缘的选择以保证最热点不致超过极限为

原则。为了确保电动机的正常使用寿命，对不同环境和负载性质的电机，选用不同耐热极限的绝缘材料，这种耐热极限分七个等级，表 4-1 就是绝缘等级及其耐热极限。

（三）电机修理用的绝缘材料

中小型低压电机的绝缘主要包括主绝缘、包绕绝缘、绑扎绝缘、引接装置绝缘、换向器绝缘以及其他附加绝缘材料，如绝缘漆等。除绝缘漆外，它们多属绝缘纤维制品或高分子材料及其复合制品。

1. 绝缘纤维制品

绝缘纤维制品是由植物纤维、玻璃纤维、合成纤维等制成纸板、管等绝缘材料。由于吸潮性大、耐热性差，所以一般都要经绝缘漆浸渍处理。下面仅就电机修理中涉及的材料作一介绍。

（1）绝缘纸　绝缘纸分两类。其中植物纤维纸包括电话纸、电缆纸和电容器纸；合成纤维纸则有聚酯纤维纸、芳香族纤维纸、恶二唑纤维纸等。而电机使用的绝缘纸品种主要是

1）电话纸　型号有 DH-40（厚度 0.04mm）、DH-50、DH-75 等。除本色外还有红、蓝、绿数色品种，主要在 A 级电机中作辅助绝缘。

2）聚酯纤维纸　代号 D。又称纤维无纺布，通常与聚酯薄膜制成复合制品，用于电机主绝缘。

3）芳香族聚酰胺纤维纸　代号 N。属耐高温合成纤维纸绝缘，通常要经轧光处理，具有较高的电气和力学性能。常与聚酯薄膜、聚酰亚胺薄膜组合成复合制品，用于 F 级和 H 级电机主绝缘。

（2）绝缘纸板　是由木质纤维掺有适量棉纤维的混合纸浆经抄纸、轧光而成。根据原料配比制成两个品种。其中 50/50 型是由木质与棉质纤维各半制成厚度为 0.10～0.50mm 共七种规格，一般用于电机绕组作防振绝缘垫片；而 100/00 型由木质纤维制成，不含棉纤，厚度有 0.10～3.00mm 13 种规格。薄型属纸类，如青壳纸、黄壳纸等，具有较好的机械强度，可与聚酯薄膜制成复合制品，用于小电机槽绝缘。

（3）钢纸板　它是由无胶棉纤维厚纸经氯化锌处理，并热轧

而成紧密度很高的厚纸板，具有高机械强度和电气性能，常用作小变压器骨架材料，在直流电机中用作隔层绝缘垫片。

2. 浸渍纤维制品

浸渍纤维制品是以绝缘纤维为底材，用绝缘漆浸渍烘干而成。它们都具有较好的柔软性，但易吸潮，且耐热性能较差。

（1）漆布类　根据底材不同，制成如黄漆布、黄漆绸等，因其布面光滑如蜡，故也称黄蜡布、黄蜡绸。常用漆布类品种见表4-2。

表4-2　电机修理常用漆布的品种、特性和用途

品种	型号	绝缘成份		绝缘等级	材料特性	主要用途
		底材	绝缘漆			
油性漆布（黄蜡布）	2010	细白布	油性漆	A	柔软性好，但不耐油	一般电机绕组辅助或组合绝缘
	2012				耐油性好	油浸变压器绕组绝缘
油性漆绸（黄蜡绸）	2210	薄绸布	油性漆	A	柔软性及电气性能良好，但不耐油	电机绕组薄层衬垫及线圈绝缘
	2212				耐油性好	油浸变压器绕组绝缘
油性玻璃漆布（黄蜡玻璃丝布）	2412	无碱玻璃布	油性漆	E	有一定的耐油性，耐热性也好于2010、2012	一般电机及电器线圈绝缘
沥青醇酸玻璃漆布	2430	无碱玻璃布	沥青醇酸漆	B	耐潮性好，但对苯和变压器油相容性差	一般电机绕组绝缘
醇酸薄玻璃聚酯交织布	—	玻璃纤维聚酯交织布	醇酸三聚氰胺漆	B	有良好的弹性和韧性，力学性能较高，电气性能和耐热性能也好，并有一定的防霉性和耐油性	可代替漆绸作电机绕组辅助绝缘
醇酸薄玻璃漆布						
聚酰亚胺玻璃漆布	2560	无碱玻璃布	聚酰亚胺漆	C	耐热性能高，电气性能良好，耐辐射，与常用溶剂也有较好的相容性	工作温度在200℃以上的电机，用作主绝缘及端部绝缘

由于漆布的底材是经纬编织布，使用时宜按经纬线呈45°角剪裁；但用于截面规整的线棒或线圈包缠时，则宜平行剪裁成条状，以减少延伸率。玻璃漆布除45°角斜裁外，还禁止180°折叠。

此外，如果用漆布组成绝缘结构，应进行浸渍处理，以提高其绝缘性能，但要注意避免与浸渍漆的不相容性。常用漆布与浸渍漆溶剂相容性见表4-3。

表4-3　常用漆布与浸渍漆溶剂的相容性

浸渍漆-溶剂	漆布类						
	油性漆布(2010)	沥青醇酸玻璃漆布(2430)	醇酸玻璃漆布(2432)	环氧玻璃漆布(2433)	有机硅玻璃漆布(2450)	硅橡胶玻璃漆布(2550)	聚酰亚胺玻璃漆布(2560)
油性漆-石油溶剂	优	良					
醇酸漆-苯类溶剂	良	良	优	良			
醇酸酚醛漆-苯醇溶剂	良	良	优	良			
醇酸三聚氰胺漆-苯石油溶剂	良	良	优	良			
环氧树脂漆-苯醇溶剂	良	可	良	优			
聚酯漆-苯类溶剂		可	良	良			
有机硅漆-苯类溶剂					良	良	
二苯醚漆-酮类溶剂					可	可	
聚酰亚胺漆-强极性溶剂							可

（2）套管类　以纤维管为底材，浸渍绝缘漆并烘干制成的漆管习惯上称套管。电机绕组用作连接线头及引出线的绝缘材料。常用套管型号见表4-4。

表4-4　电机常用套管型号与特性

品　种	型号	耐热等级	主要特性
油性玻璃漆管	2714	E	具有良好的电气性能和弹性，但耐热性、耐潮性及耐霉性差
聚氯乙烯(软性)玻璃漆管	2731	E	具有良好电气性能及弹性外，其耐化学性也较好

（续）

品　　种	型号	耐热等级	主要特性
聚胺酯涤纶漆管		E	有良好电气及力学性能且有弹性
醇酸玻璃漆管	2730	B	具有良好的电气性能和力学性能，且耐油、耐热，但弹性差
聚氯乙烯玻璃漆管	2731	B	具有耐化学性能及有良好的电气性能和弹性
有机硅玻璃漆管	2750	F、H	有较高的耐热、耐潮性，电气性能也较好
硅橡胶玻璃漆管	2751	F、H	电气性能好，还具有耐热性和耐寒性，适用于 -60～180℃ 的工作环境使用

（3）绑扎带　绕组绑扎材料包括带状和管状物，主要绑扎电机绕组端部和转子绕组端部。常用品种见表 4-5。

表 4-5　电机常用绑扎带品种、性能与特点

品　　种	耐热等级	性能与特点
无碱玻璃丝带、管	E、B	属未经浸渍材料，容易起毛并刺激皮肤，操作时延伸率小，容易打滑，且质地较脆，但耐热性较好，使用方便，故为小电机绑扎常用品种。耐热等级随浸渍漆而定
涤纶带	B	抗拉强度较高，无刺激性，但无热收缩性，摩擦力小，易打滑，故绑扎结尾难处理
聚酯纺织带、管	B、F	材料强度高，并有一定延伸性、耐摩擦、耐碰撞，透漆性和浸渍性较好；对皮肤无刺激性
聚酯短纤维纺织带(PST 带)	F	绑扎强度最高，并有热收缩能力，摩擦力大，不易打滑和变形，但价格较贵
无纬绑扎带	E-F	有各种耐热等级品种，有效储存期短，使用时要进行加热固化工艺，固化后强度高，一般用于代替钢丝绑扎交流电动机转子端部

3. 电工用薄膜与复合制品

电工用薄膜是由高分子化合物——合成树脂制成的电工绝缘用薄膜材料。它有良好的电性能和力学性能，而且质地软、耐潮性好。通常制成透明、不透明或半透明的各色产品。在电机上常用的电工薄膜有见表 4-6。

表 4-6　电机常用电工薄膜性能、特点

品　　种	型号	性能与特点
聚酯薄膜(代号 M)	6020 6021	具有较高的机械强度，化学性能稳定，绝缘电阻和击穿强度高，价格也便宜；但抗水解、耐碱性和耐电晕性差。有透明(6020)和不透明(6021)两种薄膜，常用规格是厚度为 0.05mm 和 0.10mm。主要用于小电机槽绝缘组合材料和相间绝缘。常与其他材料制成复合制品
聚酰亚胺薄膜(代号 H)	6050	具有优异的耐高温和耐低温性能，耐热等级是 C 级，能在 -269～400℃范围内使用，超过 800℃炭化但不燃烧。具有质地柔软、强韧；介电强度及机械强度都好，而且对有机溶剂和酸有较强耐受性，但不耐强碱，价格也较贵。常用规格是 0.025mm、0.05mm、0.10mm。主要应用在工作条件恶劣的 F 级、H 级电机槽绝缘

复合制品是将薄膜的一面或双面粘合纤维材料制成绝缘箔，复合材料主要有绝缘纸、玻璃漆布、聚酯纤维纸及芳香族纤维纸等。复合材料能增强薄膜的机械强度，使材料的表面挺度增强，抗撕能力提高，同时也提高材料的绝缘能力。电机常用薄膜复合制品见表 4-7。

4. 绝缘漆

绝缘漆是浸涂于电机绕组，使其充填于绕组导线间的间隙，加强其绝缘性能，并使之固化后将线圈粘合为一整体，从而提高绝缘结构的耐潮性、耐热性和机械强度。电机绝缘漆通常采用浸漆工艺，故又称浸渍漆。

表 4-7　电机常用复合绝缘箔品种、特性和用途

品　　种	型号	耐热等级	复合结构	特性和用途
聚酯薄膜绝缘纸复合箔	6520	E	6020 聚酯薄膜为基材与电绝缘纸粘合而成	具有良好的介电性能及较高的机械强度，主要用于 E 级电机主绝缘。常用规格(厚度)为 0.15～0.30mm
聚酯薄膜玻璃漆布复合箔	6530	B	6020 聚酯薄膜为基材与 2423 醇酸玻璃漆布粘合而成	具有良好的介电性能和较高的机械强度，抗张力略优于 6020，主要用于湿热地区 B 级电机主绝缘和辅助绝缘。常用规格(厚度)0.17～0.24mm
聚酯薄膜聚酯纤维纸复合箔	DMD	B	一层聚酯薄膜(M)和两层聚酯纤维纸(D)复合而成	特性和用途同 6530。但常用规格(厚度)为 0.20～0.25mm
聚酯薄膜聚酯纤维纸复合箔(加强型)	DMDM	B	两层聚酯薄膜(M)和二层聚酯纤维纸(D)复合而成	特性基本同 DMD，常用厚度为 0.25～0.35mm，属加强型，可单独用作 B 级小电机主绝缘
聚酯薄膜芳香族聚酰胺纤维纸复合箔	NMN	F	一层聚酯薄膜(M)和两层芳香族聚酰胺纤维纸(N)复合而成	性能基本同 DMD，但常态和热态介电强度则略高，而机械强度稍低。常用厚度是 0.25～0.30mm。用于 F 级电机主绝缘及辅助绝缘
聚酰亚胺薄膜(H)芳香族聚酰胺纤维纸复合箔	NHN	H	一层聚酰亚胺薄膜(H)和两层芳香族聚酰胺纤维纸(N)复合而成	介电性能同 NMN，而力学性能稍高，但耐热性更高。常用规格(厚度)为 0.25～0.30mm。主要用于 H 级电机绝缘

浸渍漆是液态，有溶剂漆和无溶剂漆两大类。

（1）有溶剂漆　它由漆基与挥发性溶剂混兑而成，具有较好的渗透性、储存期长、使用方便等特点；但固化慢，烘焙时间长，溶剂挥发不但造成浪费，还会污染环境。溶剂漆品种很多，表 4-8 是电机定子绕组绝缘常用品种。

有溶剂浸渍漆一般要经多次浸渍和烘焙，其加热温度、时间要严格按工艺要求进行，否则容易造成漆膜缺陷而影响电机使用寿命。此外，为防止绕组潮气入侵，定子绕组浸漆工序完成之后，绕组表面还要涂一层覆盖漆，相应耐热等级参考表 4-8。

（2）无溶剂浸渍漆　无溶剂系指其组成中不含有挥发性的惰性溶剂。它是由合成树脂、固化剂和活性稀释剂组成可整体固化的一种绝缘漆。它也具有流动性、浸透性好，固化快，粘度随温度变化快，固化过程挥发物少，固化后机械强度大等优点。用无溶剂漆浸渍电机绕组不但可提高绝缘结构的导热性能和防潮性能；还因固化时间短，可降低能源和材料消耗，缩短修理周期并改善劳动条件，有利于提高经济效益。

目前，电机转子绕组常用绝缘漆品种见表 4-9。

三、辅助材料

辅助材料是指电机修理除上述之外的其他用料。

1. 层压板

层压板是由天然或无机纤维纸、布品为基材、涂(或浸)以不同胶粘剂，经热压而成的层状结构绝缘板材。主要用于较大电机的绝缘衬垫，修理中可加工电机引出线的接线端底板等。常用的品种有：

（1）酚醛层压玻璃布板　型号为 3230，基材是无碱玻璃布，胶粘剂用苯酚、甲醛树脂，它的特点是机械强度高，耐水耐油也较好，耐热等级为 B 级。

（2）环氧酚醛层压玻璃布板，型号为 3240，基材也是无碱玻璃布，胶粘剂是环氧酚醛树脂。材料性能基本同上，但耐水性更强，浸水后仍有稳定的耐水性，且耐热等级是 B 或 F 级。

表 4-8 电机定子绕组常用绝缘漆及其主要性能

类别	绝缘等级	名称	型号	性能特点	主要用途	稀释剂	干燥条件	
							温度/℃	时间/h
绝缘浸渍漆	A级	耐油清漆	1012	耐油，耐湿，干燥时间短，漆膜光滑	电机绕组浸渍漆	200号溶剂	105	2
	E级 B级	醇酸清漆	1030	有较好的耐油及耐弧性能	适用于绕组浸渍和覆盖	二甲苯、甲苯	105	2
		三聚氰胺醇酸漆	1032 A30-1	有较好的干透性和附着力，且弹性好，耐热、耐油、耐电弧	可用于湿热带电机绕组浸渍或零件表面覆盖	甲苯、200号溶剂	105	2
		环氧酯漆	1033、H30-2	有较好的耐油、耐热、耐湿性，形成的漆膜光滑、有弹性，且机械强度高	用途同1032	二甲苯、丁醇	120	2
		环氧醇酸漆	H30-6、8340	耐热性、耐潮性较好，机械强度高且粘结力强	可浸渍热带电机绕组	甲苯、二甲苯	105	<1.5
	F级	聚酯浸渍漆	155、Z30-2	耐热性及电气性能好，粘结力强	电机绕组及电器线圈浸渍	二甲苯、丁醇	130	1~3
	H级	硅有机清漆	1050	耐热性及固化性能好，而且还具有耐油、防霉性能	适用于高温下使用的电机绕组浸渍	甲苯	200	0.5

（续）

类别	绝缘等级	名　　称	型号	性能特点	主要用途	稀释剂	干燥条件	
							温度/℃	时间/h
绝缘浸渍漆	H级	硅有机清漆	1052	性能基本同1050，但耐热性稍低，特点是可在常温下干燥	常用于电机、电器线圈绝缘损坏的局部修补	甲苯	20	0.25
			1053、W30-1	耐热性和电气性能好，但烘干温度较高	电机绕组及电器线圈浸渍以及零件表面覆盖	二甲苯	200	1.5~2
		低温干燥有机硅漆	9111	耐热性较1053稍差，但烘干温度较低，干燥快	电机绕组浸渍及绝缘零件涂覆	甲苯	150	0.25~1
覆盖漆	B级 E级	灰磁漆	1320、1321	漆膜坚硬，机械强度高且耐油、耐弧性好，但耐潮性及介电性能较差	一般只用于电器线圈及电机绕组表面防油覆盖	二甲苯	105	3
	E级	气干红磁漆	1323	性能同1320，但可在低温下干燥	适用于不能在高温下干燥的线圈或零部件的覆盖	二甲苯	20	24
	F级 H级	硅有机磁漆		耐油性、耐热性、耐潮性都较好，介电强度也较高，且能耐受表面冲击	适用于高温使用的线圈覆盖	二甲苯	200	3
叠片用漆	A级	硅钢片漆	1610 1611	可在450~550℃高温下快速干燥	用于电器铁心叠片间绝缘	煤油	210	0.2

表 4-9 电机转子绕组常用绝缘漆及其性能

类别	绝缘等级	名称	型号	性能特点	主要用途	贮存稳定性/月	粘度/s	胶化温度/℃	胶化时间/min
无溶剂漆	B级	环氧聚酯酚醛无溶剂漆	5152-2	耐潮湿及介电性好，粘度较低，不需活性溶剂，固化快速且贮存稳定性较好，机械强度高	适用于沉浸小型低压电机绕组	3	15～30（25℃）	130	12～15
		环氧无溶剂漆	110	粘度低，贮存稳定性好，介电强度高	适用于小型电机及线圈沉浸	4	30～70（20℃）		
			111	粘度低固化快，介电强度高，但贮存稳定性较差	适用于小型低压电机及电器线圈滴浸	30h	30～60（20℃）	120	8～12
			H30-5	固化快速，介电强度高，粘度较低（略高于111）	适用于滴浸低压小型电机绕组	72h	85～100（25℃）	130	15～20
			594	粘度低，体积电阻高，贮存稳定性好，在高温下固化快速	适用于沉浸中型高压电机、线圈等	12	19～25（60℃）	200	5～10
			672-1	挥发物少，固化快，体积电阻高，但贮存期短	适用于小型电机、线圈滴浸	30h	150（25℃）	130	3～4
			9101	粘度低、体积电阻高，贮存稳定性好	适用无沉浸中型高压电机绕组及电器线圈	6	40～65（20℃）	140	30～60

（续）

类别	绝缘等级	名　称	型号	性能特点	主要用途	贮存稳定性/月	粘度/s	胶化温度/℃	胶化时间/min
无溶剂漆	B级	环氧无溶剂漆	9102	挥发物少，固化快速，但贮存稳定性差	适用于滴浸小型低压电机及电器线圈	24h	110～240（20℃）	130	14～17
		环氧聚酯无溶剂漆	1034	挥发物较少，固化快，但耐霉性能和贮存稳定性都较差	适用于小型电机、线圈滴浸	24h	120～240（20℃）	120	6～12
有溶剂漆	B级	三聚氰胺醇酸漆	1032	有较好的耐油、耐干性，漆膜光滑，渗透力、粘结力强，且耐潮性也好，但固体含量只有47%左右，故挥发物较多	可用于转速较低的各种电动机转子绕组的浸渍	—	30～60	105	120
无溶剂漆	F级	环氧聚酯无溶剂漆	EIU	粘度低，挥发性少，介电强度高，贮存稳定性好	适用于高温作业场所使用的电动机绕组沉浸	3	20～50（25℃）	—	—
		不饱和聚酯无溶剂漆	319-2	粘度较低，贮存稳定性和电气性能都较好	适用于沉浸高温作业的电机绕组和电器线圈	6	30～60（25℃）	155	180

注：粘度采用4号粘度杯计。

2. 槽楔与垫条

槽楔在线圈线匝全部嵌入槽，并把槽口绝缘处理后，由槽口端面推入槽的上部，用以固定槽内线圈及防止外部机械损伤。以往常用竹、木削制的槽楔，它的价格较低，但制作效率极低，反而造成修理成本增加，再就是耐热等级低，不符合目前 B 级绝缘的要求。因此，修理车间宜购用轧制成型的 MDB 复合槽楔或垫条材料备用。常用的复合槽楔和垫条材料见表 4-10。

3. 焊锡与助焊剂

中小型电机绕组导线连接要通过钎焊确保其连接质量。所谓钎焊是指在母材(如线圈接头)不熔化的条件下，将钎料加热熔化并浸润在母材连接点表面，然后冷却，使连接点密切结合并获得较小接触电阻的焊接工艺。因电机修理所用钎料为锡，故也称锡焊。

表 4-10　电机槽楔常用材料

品　　名	型　　号	耐 热 等 级	槽楔推力/N
酚醛层压板条	3020，3021，3022，3023，3025，3027	E	200
环氧酚醛玻璃布层压板条	3240	B	247
MDB 复合槽楔			244
环氧酚醛玻璃布层压板条	3240	F	247
MDB 复合槽楔			244
有机硅环氧层压玻璃布板条	3250	H	247
有机硅层压玻璃布板条	3251		

纯锡的熔点为 232℃，是良好的焊接材料，但成本较高，故通常加入熔点为 327℃ 的铅制成锡铅合金焊锡。它具有熔点较低，浸润性好，并有相当的机械强度和良好的导电性、散热性和抗腐性，而且操作方便，经济实用，但铅有轻微的毒性，是电机绕组导线焊接时普遍使用的材料。锡焊适宜焊接铜及铜基金属，

但对铝的结合能力极弱，即使加入助焊剂，焊接质量也不理想。所以，修理铝线绕组时，常改用以铜代铝的修理工艺。

锡焊常用的焊锡牌号见表 4-11。

表 4-11 焊锡牌号、成分与特点

牌号	熔点/℃	主要成分(质量分数)(%)				特点及用途
		锡 Sn	铅 Pb	锑 Sb	铋 Bi	
HLSnPb50	210	50	约 50	≤0.8	微量	熔点低，机械强度较低，焊接时流动性好，且价格相对较贵，适用于仪表零件、小电机绕组的焊接
HLSnPb58-2	235	40	约 58	2	微量	熔点高且润湿性好，焊点表面光滑圆润，适用于焊接铜、铜合金、钢、镀锌铁皮等。常用于电器零件、电机绕组接头及引出线焊接。是应用最广的钎料
HLSnPb68-2	256	30	约 68	2	微量	熔点高，润湿性较好，价格较宜，适用于焊接铜、黄铜、钢、锌板、白铁皮等金属。常用于电动机绕组接头、引出线及直流电机元件焊接

注：焊锡成分中的铋含量约在 0.1% 左右。

焊锡时为使焊接过程加速，要加入助焊剂，可辅以除去金属表面残留氧化物及油污等；同时又可在加热过程中降低焊锡的表面张力，使锡溶液流展以浸润金属表面，从而使焊点牢固可靠，表面圆润。

电机绕组主要铜导线的接头焊接，常用的助焊剂有：

（1）松香　松香可以单独使用，也可加活性剂制成合成助焊剂。

最常用的是用40%松香捣碎后加入60%酒精摇匀，使松香溶化后成为松香酒精溶剂助焊剂。其特点是无腐蚀性、不导电、表面张力较低、流动性也好，且成本低、易配制和焊接后残留物容易清除。

（2）焊锡膏　松香对钢焊接的助焊能力极差，所以钢与铜或钢与钢(如捆扎钢丝焊接)必须用焊锡膏助焊。它有很强的去氧助焊能力，但属酸性物质，有腐蚀性，而且焊接后的残留物不易清除而容易留下隐患，所以电机绕组焊接不宜使用。

第二节　绕组原始记录与接线图绘制

一、原始记录表格与要点

电动机重绕是将绕组恢复性修复，除非用户提出性能调整的要求而作参数合理改变外，通常都应按照原来绕组数据修复，使之重绕后的电动机能达到原来的性能指标。所以，拆除绕组过程必须严格做好原始记录。

原始数据记录是电机修理中的重要工作，它将作为修理技术资料存档，故宜用表格形式进行登记。表格内容主要包括铭牌参数、铁心尺寸、绕组数据及质量检验记录等。下面将对一些技术性项目进行说明。

1. 三相电动机重绕数据记录表

表4-12是定、转子通用表格，定子绕组修理时可划去“转子”两字，而填记定子绕组项目和参数，转子修理则填写转子数据；若定、转子同时修理，则要分两页记录。所以它是适用于笼型、绕线转子以及变极多速电动机重绕修理的通用记录卡。如有不尽的项目，则可作为备注记入栏中。

2. 单相电动机重绕数据记录表

表4-13是适用于一般用途的各种型式绕组及电扇调速电动机的数据记录。其中“绕组型式”可按实际记为单链，正弦3A、4B等，其含义见第二章叙述；“接线型式”项目是指L-1、L-2型等，并可在栏目中绘制接线图说明。

加，为使加粗的导线能嵌入槽内，可采用以下办法：

(1) 改换绝缘结构　早年电机产品的槽绝缘和导线绝缘都较厚，故可采用下面几项措施，以让出更多的空槽面积来增大导线占槽率。

1) 中小电机选用 DMDM 或 DMD + M 复合绝缘纸代替原来的 A 级槽绝缘和层间绝缘；

2) 选用 QZ-2 型高强度漆包线代替原来的纱包线；

3) 原竹、木槽楔改为 MDB 复合槽楔。

(2) 计算导线有效占槽面积　采取上述措施后，有效槽面积可根据槽形算出

梨形槽　单层　$A_1 = A_Z - C_i(2h'_S + \pi R)$　(mm²)　(6-9)

双层　$A'_1 = A_1 - C_i(2R + b_1)$　(mm²)　(6-9′)

梯形槽　单层　$A_1 = A_Z - C_i(2h'_S + b_2)$　(mm²)　(6-10)

双层　$A'_1 = A_1 - C_i(b_1 + b_2)$　(mm²)　(6-10′)

式中　A_Z——槽面积，mm²；

C_i——采用 B 级槽绝缘的厚度，mm；

(3) 选择最佳并绕方案及导线直径

1) 计算带绝缘漆包线直径 d'_0　设 $n = 1$、2、3、4、5…由下式求出带绝缘漆皮的导线直径

$$d'_0 = \sqrt{\frac{0.78A_x}{nS_Z}} \quad (\text{mm}) \qquad (6\text{-}11)$$

式中　A_x——导线占槽有效面积，mm²，由 A_1、A'_1 代入；

S_Z——每槽导线数，根/槽；

n——导线并绕根数。

2) 作选择方案表

【例 6-3】　已知导线占槽有效面积 $A_1 = 256.4\text{mm}^2$，每槽导线数 $S_Z = 24$，求选并绕根数最佳方案。

分别设 $n = 2$、3、4、5、6 根并绕，代入式 6-11 求得带绝缘的漆包线直径 d'_0 填入表内，然后查表得其余数据。

点空载电流也要力保短路电压接近正常值。

（4）找出对应列数据　计算“$U_N I_{0X}$”的值，在表 6-6 中找出最接近此值的“$U_X I_0$”值(假如最接近是“$U_3 I_{03}$”)；

（5）计算重绕调整匝数 W_t　若保持绕组型式、接法不变的条件下，其调整后的匝数为

$$W_t = W' \frac{U_N}{U_3} \quad (\text{匝}) \tag{6-6}$$

式中　W'——原来匝数(或每槽导线数)；

U_N——电动机额定电压，(V)；

U_3——由表 6-6 选定对应列“$U_3 I_{03}$”中的试验电压 U_3。

（6）调整匝数后的空载电流估算值

$$I_{0t} = I_{03} \frac{W'}{W_t} \quad (\text{A}) \tag{6-7}$$

式中　I_{03}——由表 6-6 选定对应列“$U_3 I_{03}$”中测得的空载电流，A。

（7）调整后的短路电压估算值 U_{Kt}

加匝调整时

$$U_{Kt} = U_K \left(\frac{W'}{W_t} \right)^2 \tag{6-8}$$

减匝调整时

$$U_{Kt} = U_K \left(\frac{W_t}{W'} \right)^2 \tag{6-8'}$$

如果估算的 U_{Kt} 值过大，则要适当减少 I_{0X} 值以减少匝数重算，直至 I_{0t} 和 U_{Kt} 两者都进入或接近正常范围值为止。最后还要通过重绕检验结果。

2. 增加导线截面积

电机绕组经上面调整后若并无质的变化，仍是“一对大”电机，只是给改善性能准备了一个条件。因此，要进行降低铜耗的调整，即将导线截面积增加，使每相电阻减少，则定子铜耗降低、满载温升下降而效率提高。但是，导线加粗后，槽满率增

勿修。

但是，正由于早年生产的电动机，原设计的绕组均采用纱包绝缘的导线，槽中绝缘占槽比高，如果能充分利用较宽松的槽面积，以减少铜耗来弥补铁耗，使电动机的效率提高，则仍有潜力可挖。为此，对“一对大”电机的重绕可采取如下特殊的修理措施。

1. 调整匝数

电动机经过空载和短路试验确定存在“一对大”缺陷时，可以根据试验特性重新确定匝数。其方法如下：

（1）确定调匝方案　对“一对大”电机，要根据 I_0 和 U_K 的超限程度解决突出矛盾：

1）若 U_K 很大、I_0 稍大时可进行减匝调整；

2）若 U_K 略大、I_0 很大时，则要进行增匝调整。

（2）作空载特性表　给电机施加不同空载电压(每档相差 15～20V,也可更精细些)测取空载电流，并求出空载功率，列表6-6：

表 6-6　380V 电动机空载特性表

空载试验电压 U_X(V)	380	365	350	345	330	315
空载电流(A)	I_{01}	I_{02}	I_{03}	I_{04}	I_{05}	I_{06}
$U_X I_0$ 值	$(U_1 I_{01})$	$(U_2 I_{02})$	$(U_3 I_{03})$	$(U_4 I_{04})$	$(U_5 I_{05})$	$(U_6 I_{06})$

（3）选定调整后的空载电流　因为电机的 I_0 和 U_K 都是超限值，如果调整后的 I_0 过小，则 U_K 值调不下来，所以要统筹考虑，一般可用下式确定

$$I_{0X} \geqslant (1.05 \sim 1.5) I_0 \tag{6-5}$$

式中　I_{0X}——选定为调整后的空载电流，A；

I_0——查取或由表 5-5 估算的正常空载电流，A。

当 I_{0X}值选定后在整个调整过程变化不大，如果由式(6-4)算出的 u_n 值超值量很大时，I_{0X}还应选取更大些，即宁愿多牺牲一

两相电源。

两相电源有多种构成形式。下面介绍的是试验专用电源，它由两台单相变压器及一台单相调压器构成如图 6-13 所示。变压器 T_1 的初级为 380V 中心抽头式，次级输出端 U_1-U_2 是 220V；T_2 的初级为 330V，其电源分别接到 W 相和 T_1 的中心抽头 0，次级输出也是 220V，并接到调压器 T_3。

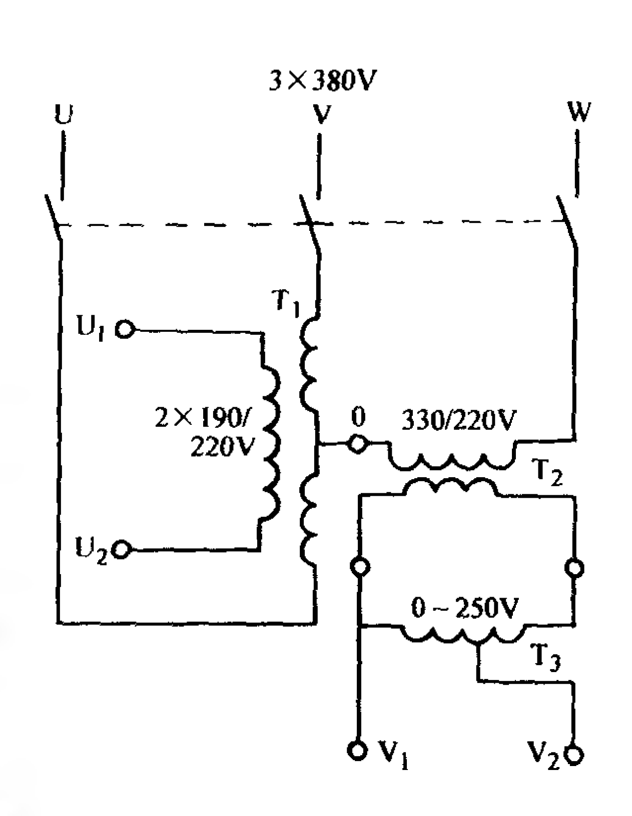


图 6-13 单相电动机试验用两相电源的构成与接线

2. 电动机运行参数测定

(1) 将单相电动机主、辅绕组分开，主绕组接入试验电源的 U_1-U_2 端，辅绕组接到 V_1-V_2 端；

(2) 分别把交流电压表、电流表和单相功率表接入检测线路，如图 6-14 所示；

(3) 合上开关 S_1～S_6，断开绕组开关 S 后，接通三相电源；

(4) 电压表 V_1 应为 220V，并调整 V_2 约 150V 左右；

(5) 合上绕组开关 S 使电动机起动并直接拖动实际机械负载；

(6) 断开 $S_{1\text{-}1}$、$S_{4\text{-}1}$($S_{1\text{-}2}$、$S_{4\text{-}2}$连带闭合)后，调整调压器 T_3，使功率表 W_2 读数等于 W_1，同时读取 V_1、V_2 读数，随即断开电压表开关 S_3、S_6，并读取 W_1、W_2 读数；

(7) 按合 $S_{1\text{-}1}$和 $S_{4\text{-}1}$后断开 S_2、S_5，读取 A_1、A_2 读数。试验结束，断开电源。

3. 圆形磁场的移相电容器的确定

(1) 主绕组输入电阻 R_1 (Ω)

虽不能直接降低 U_K 值，但可增加功率输出，以弥补因 U_K 值超限而引起的降容量。

5. 改善冷却散热措施

1）从工艺上保证绕组端部喇叭口有足够的张开度，以利于通风散热；

2）绕组及端部应有足够的绝缘漆挂漆量，以增强热量传导性能，改善散热条件；

3）将早年生产电机的接线盒后置结构改到前面，即把转子轴伸端改到出线端，增强其风冷散热效果；

4）改进风叶结构，对单转向运行的电动机可把原来的径向风扇改为小一级高效率的螺旋式轴流风扇，从而使风耗降低、电机效率提高，也可使 U_K 值有所降低。

通过上述各项改进、调整，不但可使“一对大”的电动机获得较好的运行性能，而且也适用于早年生产的异步电动机提高效率。

五、单相电容电动机最佳工作状态调整

单相电容电动机有较高的效率，但由于辅绕组串联电容后使其运行参数变得复杂。因此，无论是电动机设计或重绕计算，对电容器的选择都只能做到粗略的估算，显然其精确的程度是难以使电动机运行于圆形磁场的理想状态。为此，可根据负载的性质，通过试验来调整电动机运行点。

然而，要使电动机工作于圆形磁场，主要取决于移相电容器与绕组有效匝比的匹配。因此，当重绕电动机的主、辅绕组匝数确定后，只要匝比不超过合理范围，则其辅绕组的移相电容器可由试验确定。

1. 两相试验电源

单相电容电动机主、辅绕组实质上是分别工作于相位差 90°电角的两相电源。前面对单相电动机试验是主、辅绕组分别进行的，其检测的数据误差较大，不能真实地反映电动机工作的实际情况。为此，要使试验结果更为准确，必须采用相位互差 90°的

表 6-7 并绕根数选择方案

方案	并绕根数 n/根	带绝缘漆包线径 d'_0/mm	查表选用标准裸线径 d/mm	标准裸线截面积 S/mm²	标准导线绝缘直径 d_0/mm	并绕裸线总面积 nS/mm²
1	2	2.041	1.95	2.99	2.07	5.98
2	3	1.667	1.56	1.911	1.64	5.773
3	4	1.443	1.35	1.431	1.46	5.724
4	5	1.291	1.18	1.094	1.29	5.47
5	6	1.178	1.06	0.883	1.17	5.298

注：1. d'_0 值由式 6-11 求得，mm；

2. d 值是根据 d'_0 值由附录表中查取最接近的标准线径，mm；

3. S 值由 d 值查表取得，mm²；

4. d_0 值由 d 值查表取得，mm。

选用 nS 值最大的方案 1，即取并绕根数为 $n=2$，导线直径为 $d=1.95$mm，带绝缘线径是 $d_0=2.07$mm。

（4）槽满率校验

$$K_Z=\frac{nS_Z d_0^2}{A_1}<0.80 \tag{6-12}$$

计算的 K_Z 值必须满足上式，如超过此值，可另选次一级方案的导线，否则无法嵌线。

3. 合理选择绕组型式

重新选择绕组型式的目的是缩短匝长，进一步减少铜耗，使调整后的 U_{K1} 值进一步降低。因此，对于原来是双层叠绕或单层同心式的绕组均宜改为线圈端部较短的单层链式、单层交叉式或单双层混合式绕组。此外还要合理地设计线模，在嵌线不致太困难的条件下尽量缩短线圈的端部尺寸。

4. 提高绝缘等级

电机槽绝缘已在前面改进，如再将其他各部绝缘从 A 级改为 B 级，并采用#1032 绝缘漆按 B 级要求浸烘，则可提高为 B 级水平。这时，电动机运行的正常温度可有约 15℃左右的提高，

$$u_n = \frac{U_K \cdot I'_0}{I_0} \tag{6-4}$$

式中　U_K——短路电压，V；

I'_0——空载电流检测值，A；

I_0——由技术资料或产品说明查得该电机正常空载电流参考值；

u_n——判断标准值，V。

当 $u_n < 100$ 时不属于“一对大”电机，是因绕组参数不当造成电磁性能局部超标，可以通过调整 B_g 值来使 I_0 和 U_K 值达到合格的电磁性能；

当 $u_n > 120$ 时可确定此属于“一对大”电机，而且说明电机磁路系统存在严重缺陷，是无法通过简单的加减匝数使电磁性能调整到合格的；

若 $u_n = 100 \sim 120$ 时，电动机的性能介乎于两种可能之间，说明此电机存在“一对大”问题，但不致过分严重，如对匝数进行调整及根据电机的一些具体情况而采用合理的技术措施，或许还有重绕再用的价值。

如将上例代入式(6-4)，即

$$u_n = \frac{81.9 \times 3.5}{2.62} = 109$$

显然，此电机 u_n 值超过 100，故仍属“一对大”，但情况较轻，不妨试做匝数调整，再估算调整后的短路电压，再决定取舍。

四、“一对大”电动机的重绕

“一对大”电机属于存在磁路缺陷的电动机，当调整 B_g 值使 I'_0 降下来时便会造成 U_K 超限，若照此重绕，则电动机起动困难，运行无力，还会严重发热，即使降容使用也未必能正常运行。因此，“一对大”电机的修理是一个特殊而复杂的问题，如果处理不善，重绕后无法使用便是更大的浪费，而且这种电机主要出现在使用残旧的产品，价值不大，如非必要，宁可弃之

$U = 220V$，电机极距 $\tau = 9.42cm$。则

（1）气隙磁密

绕组每相串联匝数

$$W = \frac{Z\,S_Z}{2ma} = \frac{36 \times 32}{2 \times 3 \times 1} = 192 \quad \text{根/相}$$

由式(2-4)得气隙磁密

$$B'_g = \frac{64.5K_E U}{WK_\omega \tau L} = \frac{64.5 \times 0.96 \times 220}{192 \times 0.96 \times 9.42 \times 10.4} = 0.754T$$

（2）齿部磁密

定子齿距

$$t = \frac{3.14D}{Z} = \frac{3.14 \times 12}{36} = 1.047cm$$

齿部磁密　由式(2-5)得

$$B'_t = \frac{B'_g t}{0.93b_t} = \frac{0.754 \times 1.047}{0.93 \times 0.5} = 1.7T$$

（3）轭部磁密　由式(2-6)得

$$B'_c = \frac{0.37\tau B'_g}{h_c} = \frac{0.37 \times 9.42 \times 0.754}{1.8} = 1.46T$$

将原绕组各部磁密值与表 2-4 比较可见，其值均达到或超过极限值，故拟降低磁密以减小空载电流。为使空载电流降至 2.79A 时，各部磁密应为如下所述。

4. 调整后各部磁密

气隙磁密

$$B_g = \frac{B'_g}{\sqrt{1+K_0}} = \frac{0.754}{\sqrt{1.183}} = 0.693T$$

齿部磁密

$$B_t = \frac{B'_t}{\sqrt{1+K_0}} = \frac{1.7}{\sqrt{1.183}} = 1.56T$$

轭部磁密

$$B_c = \frac{B'_c}{\sqrt{1+K_0}} = \frac{1.46}{\sqrt{1.183}} = 1.34T$$

值之外，还使 ϕ 值变化而间接影响 I_0 值，也就是说，I_0 与 W^2 成反比。因此，空载电流与绕组匝数的平方近似成正比，即

$$\frac{I_0}{I'_0} \approx \left(\frac{W'}{W}\right)^2 = \left(\frac{\omega'}{\omega}\right)^2 \tag{6-1}$$

这时，如果空载电流超标，可采用调整匝数 ω（匝）的方法改变空载电流，即

$$\omega = K_i \omega' \sqrt{\frac{I'_0}{I_0}} \tag{6-2}$$

式中　I'_0——电动机超标的空载电流，A；

I_0——要求调整到正常范围的空载电流，A；

ω'——电动机调整前线圈匝数，匝；

ω——调整后线圈应绕匝数，匝；

K_i——经验系数，需降低空载电流则取 $K_i = 0.94 \sim 0.96$；若要提高空载电流则取 $K_i = 1.05 \sim 1.08$。

【例 6-1】 重绕一台四极电动机，$P_N = 2.8\text{kW}$、$I_N = 6.2\text{A}$、$U_N = 380\text{V}$、绕组是单层交叉式，Y形接法，线圈匝数 $\omega = 32$ 匝，定子 $Z = 36$ 槽、内径 $D = 12\text{cm}$、叠厚 $L = 10.4\text{cm}$、齿宽 $b_e = 0.5\text{cm}$、轭高 $h_e = 1.8\text{cm}$，重绕后空载电流 $I'_0 = 3.3\text{A}$，超过正常值，试求调整匝数。

2. 计算电流偏差

由表 5-5 查得空载电流比值为 0.34～0.45，则正常时电动机空载电流约为

$$I_0 = (0.34 \sim 0.45) I_N = (0.34 \sim 0.45) \times 6.2 = 2.1 \sim 2.79\text{A}$$

显然电动机实际空载电流超过正常范围的最高限，此时电流偏差为

$$K_0 = \frac{I'_0 - I_0}{I_0} \times 100\% = \frac{3.3 - 2.79}{2.79} \times 100\% = 18.3\%$$

由于偏差过大，拟用改变匝数进行调整。

3. 校验调整前定子磁密

选压降系数 $K_E = 0.96$，单层绕组系数 $K_\omega = 0.96$，每相电压

整，使电动机满足使用要求。

一般来说，重绕参数只影响电磁性能指标，所以，电动机运行性能的调整只能以改变绕组数据，进而改变其电磁参数进行的。而电机性能六项技术指标中，最关键的参数是气隙磁通密度 B_g。如 B_g 值选用合理，则电动机满载运行效率高，其节能效果较好，而且满载运行时的温升最低，绕组绝缘能充分发挥效能，使用寿命得以延长；若 B_g 选用过高，即线圈匝数过少，铁心磁通饱和，铁耗增大，虽然转矩增加，但起动电流也增大，且功率因数降低，输出减少，电动机容易发热，严重时甚至烧毁；若 B_g 值选用过小，则每槽有效匝数增加，当保持槽满率不变，就会影响电动机功率，而且还使定、转子铜耗增大，功率因素下降，运行温度上升，同时也使起动转矩和过载能力变差。由于 B_g 值的变动涉及面极广，且各项性能之间牵扯大，对新电机设计，除反复推敲选用外，制出样机后还要通过多项试验、调整再定型。但对电动机修理则只能通过一些简单的检验来估计各项性能指标。

一、空载电流 I_0 超标的参数调整

电动机空载电流会因机种而异。如冶金起重型电动机便比一般电动机高，而各种电动机的空载电流可参考产品说明或有关资料。一般用途三相电动机的空载电流 I_0 正常值可参考表 5-5。故试空载时所测值不宜偏差过大，如发现空载电流不合格，调整方法有：

1. 调整绕组参数

电动机空载电流超标的原因很多，如果排除外部(如电压)及装配等因素之后，对重绕电机应检查重绕参数是否有误。因为影响电动机空载电流的关系如式(2-2)，即

$$I_0 \approx \frac{\Phi R_m}{W}$$

如果电源电压正常，则磁路磁阻 R_m 可视作恒定，若拆线原始记录不准确，如匝数出现差错，则 W 值的变化除直接影响 I_0

$$I'_K = (1.4 \sim 1.0) I_N = (1.4 \sim 1.0) \times 11.3 = 15.8 \sim 11.3\text{A}$$

即最低不宜低于 $I'_K = 11.3\text{A}$。而实际偏差

$$K'_K = \frac{I'_K - I_K}{I_K} \times 100\% = \frac{9.7 - 11.3}{11.3} \times 100\% = -14.1\%$$

显然此电机属于空载、短路电流负超限，说明重绕后的电磁性能不合格，故采用减匝来提高 B_g 值进行调整。

因是减匝，故选 $K_i = 1.06$，拟将空载电流调到 4.25A，调整后的线圈匝数应为

$$\omega_t = K_i \omega' \sqrt{\frac{I'_0}{I_0}} = 1.06 \times 33 \sqrt{\frac{3.6}{4.25}} = 29.6 \text{ 匝}$$

取 $\omega_t = 30$ 匝重绕，也可将每只线圈从槽口退出的办法解决，退出匝数为

$$\omega_0 = \omega' - \omega_t = 33 - 30 = 3 \text{ 匝。}$$

三、I_0 与 U_K "一对大"的分析与判断

根据短路电流分析可知，空载电流 I_0 与短路电压反向超限是在电机结构合理的基础形成的参数关系，它们除受 B_g 值影响外，还与其它因素有关。但匝数与 B_g 有直接关系，重绕参数是把有关的因素设定为正常，但若定、转子气隙发生变化，或铁心质量变差，则磁路的磁阻变大，这时，由式(6-1)可见，即使 B_g 值不变，其空载电流也会增大；另外，如转子铸铝笼条断裂也会造成 U_K 值增大。因此，当正常因素被破坏后，前面所述的调整计算便不能成立，匝数调整便不能使空载电流 I_0 和短路电压同时调整到正常范围。这就是俗称的"I_0 与 U_K 一对大"的电机。

但是，有的电机并不是明显反映"I_0、U_K 一对大"特征。例如，某 2.8kW、380V 电机，额定电流 $I_N = 6.1\text{A}$，试验结果 $I'_0 = 3.5\text{A}$，$U_K = 81.9\text{V}$，资料查得空载电流应为 $I_0 = 2.62\text{A}$，可见其空载电流明显超标；而从表 5-6 查得该规格电机的短路电压参考值为 $U_K = 75 \sim 85\text{V}$，按理仍属正常范围，但按增匝调低空载电流后，则 U_K 值增大而超标。对此种情况说明电机的电磁性能可能存在缺陷，但至于问题的性质，可由下式做出判断。即

二、短路电流超标的分析与调整

由上可知，增加线圈匝数 ω（即降低选用 B_g 值）可使空载电流降下来，但如果选用的 B_g 值过小，会将短路电流 I_K 的值变小，引起电机运行发热、起动性能下降及过载能力欠佳等一系列问题，严重时甚至无法带负载起动。因此，电机性能调整并不是空载电流愈小愈好，过度地增匝就会导致短路电流过小。所以，评价电动机的电磁性能不能单凭空载电流的大小，而需考虑短路试验的结果才能正确地进行分析。因此，电机必须在半成品中同时检验 I_0 和 I_K（U_K）两个标准，以便发现问题及早解决。

短路电流 I_K 与短路电压 U_K 均是短路试验的结果，其试验形式不同，详见第五章第二节内容，但对电机性能的影响却是一样的，当 I_K 过小时则 U_K 就反向超限而过大。然而，它们都与空载电流有着相应关系，即

$$\omega\uparrow\rightarrow B_g\downarrow\rightarrow I_0\downarrow\rightarrow I_K\downarrow(U_K\uparrow)$$

$$\omega\downarrow\rightarrow B_g\uparrow\rightarrow I_0\uparrow\rightarrow I_K\uparrow(U_K\downarrow)$$

从上述关系可见，电动机的短路电流 I_K 与空载电流 I_0 有相随关系，即如果 I_0 偏小则 I_K 也偏小，否则就会同时偏大。因此，匝数的调整也可依据空载电流进行。但必须注意，B_g 值的选用并不是空载电流超标的唯一原因，而结构缺陷，如铁心绝缘老化导致片间短路，铁心导磁率下降，定、转子铁心位移以及气隙不匀等都会引起空载电流增大。所以，上述关系只有消除电机故障或缺陷后才成立，也就是说，在电机结构正常情况下出现的 I_0 和 I_K 同时超标，才可用调整匝数的办法将 I_0、I_K 值降下来。

【例 6-2】 电动机 $P_N=5.5\text{kW}$、$U_N=380\text{V}$、$I_N=11.3\text{A}$，重绕时线圈匝数 $\omega=33$ 匝，查得空载电流 $I_0=4.25\text{A}$，半成品试验时空载电流 $I'_0=3.6\text{A}$，短路电流 $I'_K=9.7\text{A}$，试检验其电磁性能。

根据空载电流比较偏差为

$$K'_0=\frac{I'_0-I_0}{I_0}\times100\%=\frac{3.6-4.25}{4.25}\times100\%=-15.3\%$$

该电机短路电流合格值应为

调整后的磁通密度基本处于选用范围的中值，属比较合理。

5. 调整后的线圈匝数

因属拟降低电流，故取 $K_i=0.95$，则要使电流从 3.3A 降至 2.79A，每圈匝数应为

$$\omega = K_i\omega'\sqrt{\frac{I'_0}{I_0}} = 0.95\times 32\sqrt{\frac{3.3}{2.95}} = 35.12$$

为使空载电流不超过 2.79A，选线圈匝数 $\omega=36$ 匝重绕。

一般来说，出现匝数不足，多属重绕操作的失误，不致造成槽满率的增高。如果嵌线感到困难，可考虑改换槽绝缘材料，如用 DMD 或 DMDM 复合箔和 MDB 复合槽楔，以减少绝缘的占槽面积。如果调整是减少匝数，允许的话，最好改用较大截面的导线，以降低铜耗。

如果空载电流超值不大，而原绕组又是双层绕组，则可将其改为单层绕组，这时绕组节距系数将提高到 1，即相当于有效匝数增加，使 B_g 值降下来，从而也可使空载电流减少。改后的空载电流由下式计算：

$$I_0 = K'_i K_y^2 I'_0 \tag{6-3}$$

式中 K'_i——系数，$K'_i=0.89\sim0.92$；

K_y——原双层绕组的节距系数；

I'_0——调整前的空载电流。

调整后空载电流占额定电流之比要满足下式

$$K'_0 = \frac{I'_0 - I_0}{I_0}\times 100\% \leqslant \pm 10\%$$

改换绕组型式调整空载电流不需增加匝数，故槽满率不变；否则线圈要增加匝数重新绕制，且平均匝长增加。此外，改换单层后会使电动机的电磁性能变差。

上述调整仅适用于气隙磁密选用不当，引起空载电流偏差过大的情况，而采用这种纠正方法。但若空载电流超过一倍或降低值超过 1/3 以上时，则可能是故障引起，不能用上述办法解决，处理的方法详见本章第二节故障排除的内容。

（续）

型号	电机参数			定子铁心/mm				线圈匝数	线规 $n\phi$/mm	并联路数	绕组极数	线圈节距	绕组型式	参考图例
	功率/kW	电流/A	电压/V	外径	内径	长度	槽数							
Y2-90S-8	0.37	1.4	380	130	86	100	36	55	ϕ0.56	1	8	1—5	双层叠式	图 2-59
Y2-90L-8	0.55	2.1				125		42	ϕ0.63					
Y2-100L1-8	0.75	2.4	380	155	106	70	48	79	ϕ0.71	1	8	1—6	单层链式	图 2-60
Y2-100L2-8	1.1	3.4				90		62	ϕ0.80					
Y2-112M-8	1.5	4.4	380	175	120	95	48	51	ϕ0.95	1	8	1—6	单层链式	图 2-60
Y2-132S-8	2.2	6.0	380	210	148	85	48	42	ϕ1.0	1	8	1—6	单层链式	图 2-60
Y2-132M-8	3.0	7.9				115		33	2ϕ0.80					
Y2-160M1-8	4.0	10.2	380	260	180	85	48	56	ϕ1.06	1	8	1—6	单层链式	图 2-60
Y2-160M2-8	5.5	13.6				120		41	ϕ0.85 + ϕ0.9					
Y2-160L-8	7.5	17.8				170		30	2ϕ1.0					
Y2-180L-8	11	25.2	380	290	205	165	48	28	ϕ1.30	2	8	1—6	双层叠式	图 2-61
Y2-200L-8	15	34.0	380	327	230	175	48	23	ϕ1.06 + ϕ1.12	2	8	1—6	双层叠式	图 2-61
Y2-225S-8	18.5	40.5	380	368	260	160	48	22	2ϕ1.25	2	8	1—6	双层叠式	图 2-61
Y2-225M-8	22	47.3				190		19	4ϕ0.95					

（续）

型号	电机参数			定子铁心/mm				线圈匝数	线规 $n\phi$/mm	并联路数	绕组极数	线圈节距	绕组型式	参考图例
	功率/kW	电流/A	电压/V	外径	内径	长度	槽数							
Y2-132S-6 Y2-132M1-6 Y2-132M2-6	3.0 4.0 5.5	7.4 9.6 12.9	380	210	148	85 115 155	36	43 56 43	$\phi1.18$ $\phi1.18$ $\phi1.25$	1	6	1—6	单层链式	图 2-56
Y2-160M-6 Y2-160L-6	7.5 11	17 24.2	380	260	180	120 170	36	40 29	$\phi1.0+\phi1.06$ $2\phi1.25$	1	6	1—6	单层链式	图 2-56
Y2-180L-6	15	31.6	380	290	205	170	54	19	$\phi0.95+\phi1.0$	2	6	1—9	双层叠式	图 2-57
Y2-200L1-6 Y2-200L2-6	18.5 22	38.1 44.5	380	327	230	160 185	54	17 15	$2\phi1.06$ $\phi1.12+\phi1.18$	2	6	1—9	双层叠式	图 2-57
Y2-225M-6	30	58.6	380	368	260	180	54	22	$2\phi1.30$	3	6	1—9	双层叠式	图 2-58
Y2-250M-6	37	71.0	380	400	285	190	72	15	$3\phi1.06$	3	6	1—12	双层叠式	图 2-58
Y2-801-8 Y2-802-8	0.18 0.25	0.80 1.1	380	120	78	75 90	36	86 69	$\phi0.40$ $\phi0.45$	1	8	1—5	双层叠式	图 2-59

（续）

型号	电机参数			定子铁心/mm				线圈匝数	线规 $n\phi$/mm	并联路数	绕组极数	线圈节距	绕组型式	参考图例
	功率/kW	电流/A	电压/V	外径	内径	长度	槽数							
Y2-200L-4	30	57.6	380	327	210	195	48	13	$3\phi1.18$	2	4	1—11	双层叠式	图 2-54
Y2-225S-4 Y2-225M-4	37 45	69.8 84.5	380	368	245	180 220	48	25 21.5	$3\phi0.95$ $3\phi1.3$	4	4	1—12	双层叠式	图 2-55
Y2-250M-4	55	103.1	380	400	260	205	48	10	$\phi1.4+3\phi1.5$	2	4	1—11	双层叠式	图 2-54
Y2-280S-4 Y2-280M-4	75 90	139.7 166.9	380	445	300	215 270	60	14 11	$3\phi1.4$ $\phi1.3+3\phi1.4$	4	4	1—14	双层叠式	—
Y2-801-6 Y2-802-6	0.37 0.55	1.3 1.7	380	120	78	65 85	36	127 98	$\phi0.45$ $\phi0.53$	1	6	1—6	单层链式	图 2-56
Y2-90S-6 Y2-90L-6	0.75 1.1	2.2 3.1	380	130	86	85 115	36	84 63	$\phi0.63$ $\phi0.75$	1	6	1—6	单层链式	图 2-56
Y2-100L-6	1.5	3.9	380	155	106	85	36	61	$\phi0.85$	1	6	1—6	单层链式	图 2-56
Y2-112M-6	2.2	5.5	380	175	120	95	36	50	$\phi1.00$	1	6	1—6	单层链式	图 2-56

（续）

型号	额定功率/kW	满载时 转速/(r/min)	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数	空载电流/A	定子铁心 外径/mm	内径/mm	长度/mm	定/转子槽数	气隙/mm	定子绕组 型式	节距	每槽线数	并绕根数	线径/mm	并联路数	参考图例
Y180M-4	18.5	1470	△380	35.9	91	0.86	13.5	290	187	190	48/44	0.55	双层叠式	1—11	32	2	1.18	2	图 2-54
Y180L-4	22			42.5	91.5		15.2			220					28		1.3		
Y200L-4	30			56.8	92.2	0.87	19.4	327	210	230		0.65			48	1	1.06 1.12	4	—
Y225S-4	37	1480		69.8	91.8		21.3	368	245	200		0.7		1—12	60	2	1.25		图 2-55
Y225M-4	45			84.2	92.3	0.88	23.6			235					40	1	1.3 1.4		
Y250M-4	55			102.5	92.6		29.2	400	260	240		0.8			36	3	1.3		
Y280S-4	75			139.7	92.7		38.8	445	300		60/50	0.9		1—14	26	2	1.25 1.3		—
Y280M-4	90			164.3	93.5		47.1			325					20	5	1.3		
Y90S-6	0.75	910	Y380	2.3	72.5	0.70	1.3	130	86	100	36/33	0.25	单层链式	1—6	77	1	0.67	1	图 2-56
Y90L-6	1.1			3.2	73.5	0.72	1.6			120					63		0.75		
Y100L-6	1.5	940		4	77.5	0.74	2.1	155	106	100					53		0.85		
Y112L-6	2.2			5.6	80.5		2.9	175	120	110		0.3			44		1.06		
Y132S-6	3	960		7.2	83	0.76	3.5	210	148			0.35			38		0.85 0.90		
Y132M1-6	4		△380	9.4	84	0.77	4.4			140					52		1.06		
Y132M2-6	5.5			12.6	85.3	0.78	5.1			180					42		1.25		
Y160M-6	7.5	970		17	86		7.3	260	180	145		0.4			38	2	1.12		
Y160L-6	11			24.6	87		10.1			195					28	4	0.95		

（续）

型号	额定功率/kW	满载时					空载电流/A	定子铁心			定/转子槽数	气隙/mm	定子绕组						参考图例
		转速/(r/min)	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数		外径/mm	内径/mm	长度/mm			型式	节距	每槽线数	并绕根数	线径/mm	并联路数	
Y180M-2	22	2940	△380	42.2	89	0.88	12.3	290	160	175	36/28	0.80	双层叠式	1—14	16	2 2	1.3 1.4	1	图 2-47
Y200L1-2	30	2950		56.9	90	0.89	15.9	327	182	180		1.0			28	2 2	1.12 1.18	2	图 2-48
Y200L2-2	37			70.4	90.5		18.7			210					24	1 2	1.4 1.5		
Y225M-2	45	2970		83.9	91.5		24.3	368	210			1.1			21	1 3	1.4 1.5		
Y250M-2	55			102.7	91.4		29.9	400	225	195		1.2			20	6	1.4		
Y280M-2	75			140.1			38.5	445	255	225	42/34	1.5		1—16	14	7	1.5		图 2-49
Y280M-2	90			167	92		46.4	445	255	260		1.5			12	8	1.5		
Y801-4	0.55	1390	Y380	1.6	70.5	0.76	0.76	120	75	65	24/22	0.25	单层链式	1—6	128	1	0.59	1	图 2-51
Y802-4	0.75			2.1	72.5		0.97			80					103		0.63		
Y90S-4	1.1	1400		2.7	79	0.78	1.3	130	80	90					81		0.71		
Y90L-4	1.5			3.7		0.79	1.6			120					63		0.80		
Y100L1-4	2.2	1420		5	81	0.82	2.1	155	98	105	36/32	0.3	单层交叉式	2/1—9 1/1—8	41	2	0.71		图 2-52
Y100L2-4	3			6.8	82.5	0.81	3			135					31	1	1.18		
Y112M-4	4	1440	△380	8.8	84.5	0.82	3.8	175	110						46		1.06		
Y132S-4	5.5			11.6	85.5	0.84	4.2	210	136	115		0.4			47		0.90 0.95		
Y132M-4	7.5			15:4	87	0.85	5.4			160					35	2	1.06		
Y160M-4	11	1460		22.6	88	0.84	7.6	260	170	155		0.5			56	1	1.3	2	图 2-53
Y160L-4	15			30.3	88.5	0.85	10			195					22	2 1	1.25 1.18	1	图 2-52

附表 2　Y 系列(IP44)三相异步电动机铁心、绕组技术数据

型号	额定功率/kW	满载时					空载电流/A	定子铁心			定/转子槽数	气隙/mm	定子绕组						参考图例
		转速/(r/min)	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数		外径/mm	内径/mm	长度/mm			型式	节距	每槽线数	并绕根数	线径/mm	并联路数	
Y801-2	0.75	2825	Y380	1.9	73	0.84	0.65	120	67	65	18/16	0.30	单层交叉式	2/1—9 1/1—8	111	1	0.63	1	图 2-44
Y802-2	1.1			2.6	76	0.86	0.82			80					90		0.71		
Y90S-2	1.5	2840		3.4	79	0.85	1.24	130	72			0.35			77		0.80		
Y90L-2	2.2			4.7	82	0.86	1.6			110					58		0.95		
Y100L-2	3	2880		6.4		0.87	2.2	155	84	100	24/20	0.40	单同心	1—12 2—11	40		1.18		图 2-45
Y112M-2	4	2890	△380	8.2	85.5		2.7	175	98	105	30/26	0.45	单层同心交叉式	1—16 2—15 3—14 1—14 2—13	48		1.06		图 2-46
Y132S1-2	5.5	2900		11.1		0.88	3	210	116			0.55			44		0.90 0.95		
Y132S2-2	7.5			15	86.2		3.5			125					37		1.0 1.06		
Y160M1-2	11	2930		21.8	87.2		6	260	150			0.65			28	2 1	1.18 1.25		
Y160M2-2	15			29.4	88.2		7.1			155					23	2 2	1.12 1.18		
Y160L-2	18.5			35.5	89		8			195					19	3 2	1.12 1.18		

（续）

型号	电机参数			定子铁心/mm				线圈匝数	线规 $n\phi$/mm	并联路数	绕组极数	线圈节距	绕组型式	参考图例
	功率/kW	电流/A	电压/V	外径	内径	长度	槽数							
Y2-801-4 Y2-802-4	0.55 0.75	1.5 2.0	380	120	75	60 70	24	129 110	$\phi0.53$ $\phi0.60$	1	4	1—6	单层链式	图 2-51
Y2-90S-4 Y2-90L-4	1.1 1.5	2.8 3.7	380	130	80	75 105	24	90 67	$\phi0.67$ $\phi0.80$	1	4	1—6	单层链式	图 2-51
Y2-100L1-4 Y2-100L2-4	2.2 3.0	5.1 6.7	380	155	98	90 120	36	44 34	$\phi0.67+\phi0.71$ $\phi1.12$	1	4	8、7	单层交叉	图 2-52
Y2-112M-4	4.0	8.8	380	175	110	120	36	52	$\phi1.0$	1	4	8、7	单层交叉	图 2-52
Y2-132S-4 Y2-132M-4	5.5 7.5	11.7 15.6	380	210	136	105 145	36	47 35	$\phi1.18$ $2\phi0.95$	1	4	8、7	单层交叉	图 2-52
Y2-160M-4 Y2-160L-4	11 15	22.3 30.1	380	260	170	135 180	36	29 22	$\phi1.18+\phi1.25$ $\phi1.12+\phi1.18$	1	4	8、7	单层交叉	图 2-52
Y2-180M-4 Y2-180L-4	18.5 22	36.4 43.1	380	290	187	170 190	48	17 15	$\phi1.06+\phi1.12$ $2\phi1.18$	2	4	1—11	双层叠式	图 2-54

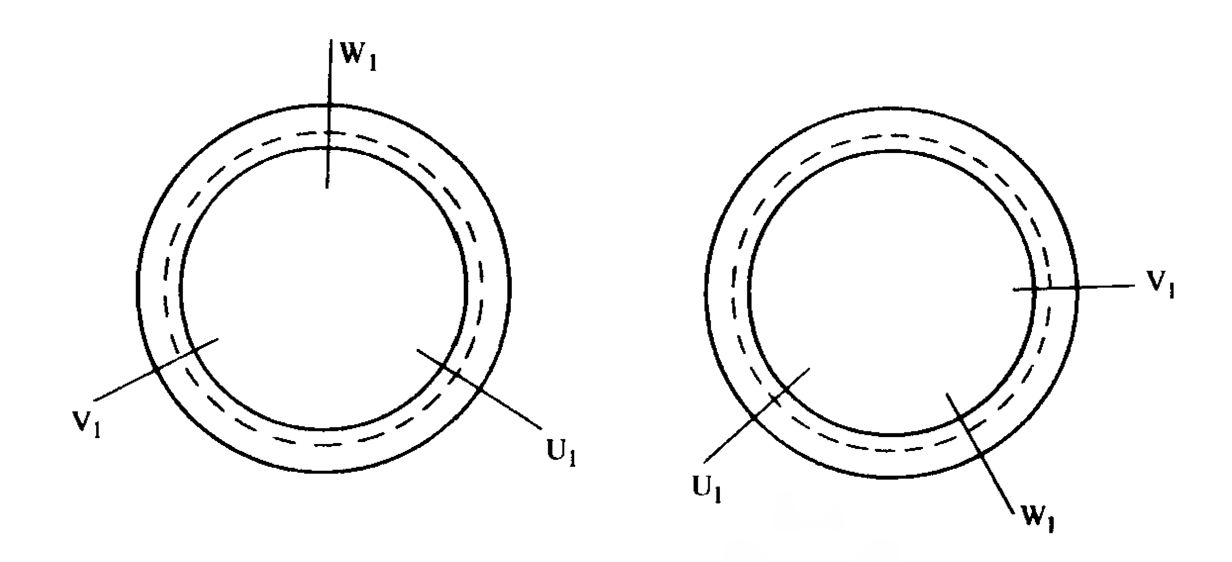


图 6-15　三相异步电动机绕组相头位置排列示意图

3. 每组多圈的转向设定

单相系列电动机每组由多个线圈组成，相邻线圈组安排如图 6-17 所示。由图可见，当主、辅线圈组的电流方向(箭头)相同时，电动机转向是从辅绕组位置转向主绕组。

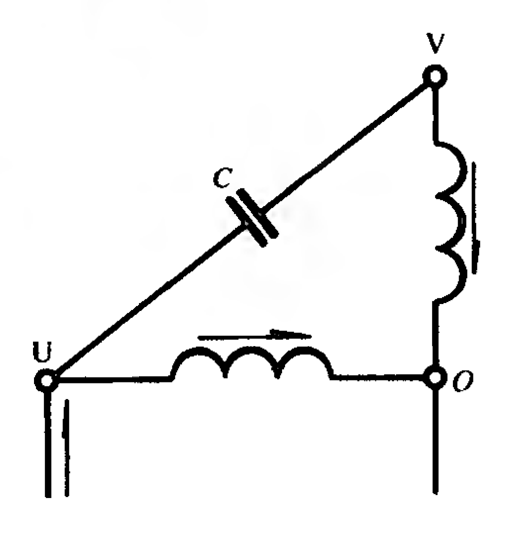


图 6-16　单相电动机设定电流方向示意

4. 每组单圈的转向设定

单圈组常见于电扇及吊扇电动机，它有两种形式。电风扇定子与系列电动机相同，其转向可参考图 6-17 设定，也可用下面的方法。吊扇是内定子结构，每组单圈而有单层和双层布线。重绕时接线在定子上面进行，俯视时的转向是顺时旋转。其转向设定是：

(1) 相邻主、辅两线圈极性相同时，如图 6-18a、c、d 所示，转向是从辅线圈转向主线圈。

(2) 相邻主、辅两线圈极性相反时，如图 6-18b 所示，则转向是从主绕组线圈转向辅绕组线圈。

此外，抽头调速电扇电动机的转向设定无需顾及调速绕组，只根据主、辅绕组关系设定转向。

(7) 电容器电压(V)

$$U_C \geq I_2 x'_C$$

式中 I_2——由 A_2 测得的辅绕组电流，A；

x'_C——选用的标准电容器 C 的容抗，Ω。

$$x'_C = \frac{10^6}{314C}$$

通过试验数据求取的电容器，一般都可使电容电动机获得较好的运行性能。故重绕后要使电动机达到最佳运行工作状态，必须按上述方法进行调整。

六、交流电动机转向调整与设定

1. 三相电动机的转向与设定

因为三相异步电动机转向很容易调整，只要把三相电源中任意两根调换接入，即可使其改变转向，因此，电动机转向在重绕中往往被忽视。其实，电动机的转向是有严格规定的，即电源相序与电动机引出线标号 U_1、V_1、W_1 对应接线时，从电动机轴伸视向为顺时针方向旋转是正确转向。因此，以往排列三相线圈组时，是从左至右按 A、C、B 相序安排的，因为当时机座设计是接线盒后置结构。目前新系列设计中为了提高散热效果，电机均改用前置结构，绕组接线在前端，为了获得规定的转向，三相线圈组排列序次应改为 U、V、W；这时，三相绕组引出线排列顺序应如图 6-15，使相序顺时方向排列。本书典型范例均按此要求绘图。

2. 单相电动机的转向与设定

单相电动机的转向调整是将主、辅绕组的连结点 O 拆开，把其中一绕组的头尾端调反连接即可使其反转。但操作时必须把电机重新拆装一次，费工费时。所以，应在接线时就按要求设定转向。单相电动机旋转方向是取决于主、辅绕组在定子相对位置的极性，当相邻线圈组极性相同时，转子是从辅绕组转向主绕组。因此，设定方向时假设电流从两相头端 U、V 流入，如图 6-16所示，然后再根据主、辅线圈极性的相对位置确定。

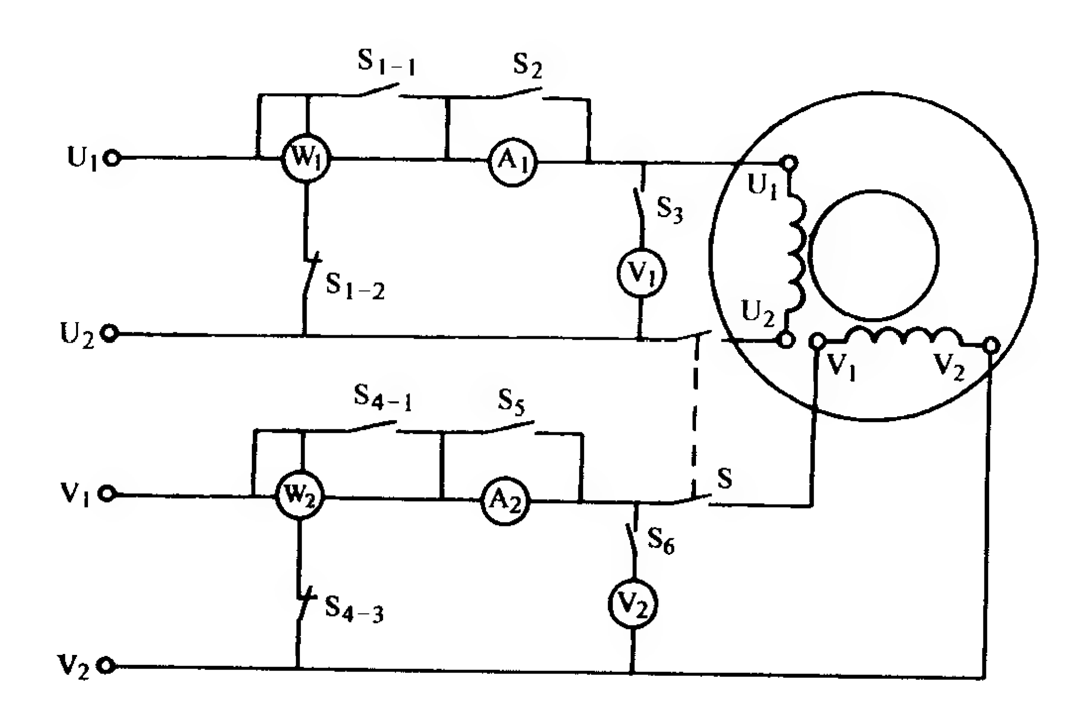


图 6-14　单相电容电动机运行参数检测接线图

$$R_1 = \frac{P_1}{I_1^2} \tag{6-13}$$

（2）主绕组输入阻抗 Z_1（Ω）

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} \tag{6-14}$$

（3）主绕组输入电抗 X_1（Ω）

$$X_1 = \sqrt{Z_1^2 + R_1^2} \tag{6-15}$$

式中　P_1——由 W_1 测得的主绕组功率，W；

U_1——由 V_1 测得的主绕组电压，V；

I_1——由 A_1 测得的主绕组电流，A。

（4）辅、主绕组有效匝比

$$K_B = \frac{X_1}{R_1} \tag{6-16}$$

（5）移相电容器电抗 x_1（Ω）

$$x_C = (1 + K_B^2) X_1 \tag{6-17}$$

（6）电容器容量(μF)

$$C = 3185 x_C \tag{6-18}$$

（续）

型号	电机参数			定子铁心/mm				线圈匝数	线规 $n\phi$/mm	并联路数	绕组极数	线圈节距	绕组型式	参考图例
	功率/kW	电流/A	电压/V	外径	内径	长度	槽数							
Y2-160M1-2	11	21.3	380	260	150	115	30	28	3ϕ1.06	1	2	15、13、11	同心交叉	图 2-46
Y2-160M2-2	15	28.7				140		23	3ϕ1.18					
Y2-160L-2	18.5	34.7				175		19	2ϕ0.9+4ϕ0.95					
Y2-180M-2	22	41.2	380	290	165	165	36	17	2ϕ1.25	2	2	1—14	双层叠式	图 2-48
Y2-200L1-2	30	55.3	380	327	187	160	36	15.5	ϕ1.18+2ϕ1.25	2	2	1—14	双层叠式	图 2-48
Y2-200L2-2	37	67.9				195		13	2ϕ1.12+2ϕ1.18					
Y2-225M-2	45	82.1	380	368	210	175	36	12	3ϕ1.50	2	2	1—14	双层叠式	图 2-48
Y2-250M-2	55	100	380	400	225	190	36	10	ϕ1.3+4ϕ1.4	2	2	1—14	双层叠式	图 2-48
Y2-280S-2	75	134	380	445	255	185	42	8	6ϕ1.3+ϕ1.4	2	2	1—16	双层叠式	图 2-49
Y2-280M-2	90	160				215		7	6ϕ1.3+2ϕ1.4					
Y2-315S-2	110	195.4	380	520	300	260	48	5	12ϕ1.4+3ϕ1.5	2	2	1—18	双层叠式	图 2-50
Y2-315M-2	132	233.3				300		4.5	8ϕ1.4+8ϕ1.5					
Y2-315L1-2	160	279.4				340		4	10ϕ1.4+8ϕ1.5					
Y2-315L2-2	200	347.8				385		3.5	15ϕ1.4+6ϕ1.5					

附　　录

附表1　Y2系列(IP44)三相异步电动机铁心、绕组技术数据

型号	电机参数			定子铁心/mm				线圈匝数	线规 $n\phi$/mm	并联路数	绕组极数	线圈节距	绕组型式	参考图例
	功率/kW	电流/A	电压/V	外径	内径	长度	槽数							
Y2-801-2 Y2-802-2	0.75 1.1	1.8 2.5	380	120	67	60 75	18	109 87	ϕ0.60 ϕ0.67	1	2	1—9 2—10 18—11	单层交叉	图2-44
Y2-90S-2 Y2-90L-2	1.5 2.2	3.4 4.8	380	130	72	80 105	18	77 59	ϕ0.80 ϕ0.95	1	2	1—9 2—10 18—11	单层交叉	图2-44
Y2-100L-2	3.0	6.3	380	155	84	90	24	43	2ϕ0.80	1	2	1—12、2—11	单层同心	图2-45
Y2-112M-2	4.0	8.2	380	175	98	90	30	54	ϕ0.95	1	2	15、13、11	同心交叉	图2-46
Y2-132S1-2 Y2-132S2-2	5.5 7.5	11.1 15	380	210	116	90 105	30	44 38	2ϕ0.90 ϕ0.95 + ϕ1.0	1	2	15、13、11	同心交叉	图2-46

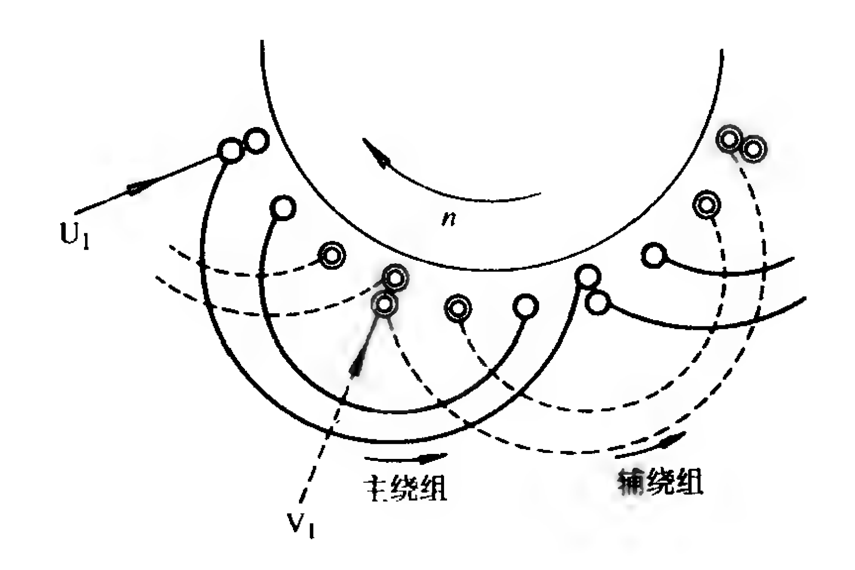


图 6-17 单相电动机转向的确定方法

a)

b)

c)

d)

图 6-18 吊扇电动机转向与接线

实线代表主绕组线圈 虚线代表辅绕组线圈

(续)

故障现象	可能原因及处理
(6) 电动机发热	(1) 电源电压过高或过低 (2) 电动机绕组浸漆后未完全烘干 (3) 定、转子扫膛摩擦 (4) 电枢绕组个别线头接错或脱焊 (5) 电枢绕组有较轻微的匝间短路 (6) 电刷压力过大 (7) 轴承磨损、缺油 (8) 装配质量不合格造成静阻力矩过大
(7) 电刷下火花过大	(1) 磁场线圈接地或短路 (2) 重绕时电枢线圈接入换向片的位置错位 (3) 电枢有个别线圈接反 (4) 电枢绕组有开焊现象或断路 (5) 换向片间的云母片凸出 (6) 换向器变形或个别铜片高出或凹进 (7) 换向器表面粗糙或沾有油污 (8) 电刷牌号不对，电刷过软或过硬 (9) 电刷磨损过度造成接触不良 (10) 电刷与刷握配合过紧，造成与换向片接触不良 (11) 电刷与刷握配合过松、晃动，与换向片接触不良 (12) 刷握松动偏移，造成电刷偏离中性线 (13) 电刷压力过小或不均匀 (14) 电刷弹簧断裂或失效 (15) 轴弯等机械原因造成运行时振动 (16) 不可逆转的电动机反转运行 (17) 重绕改压后片间电压过高

第三节　重绕电动机电磁性能分析与调整

电动机性能包括机械性能和电磁性能，为了确保重绕电动机质量和运行特性，电动机在浸漆前的半成品试验中，如发现问题或测定的参数与要求相距较大时，都应对重绕参数作出必要的调

轴承的钢珠(直径约 10~15mm)放在定子内圆表面，接通三相交流低压电源，若三相绕组接线正确，则滚珠会沿定子内圆上滚动；如果有绕组接反就不能形成圆形磁场，滚珠就不能完成一周的滚动而坠落。

试验时，对小电机通入的电压可以高一些，一般试验电压 $U_C \approx (0.9 \sim 1) U_N$；容量较大电机要再低一些。但通电时间不宜过长，否则容易过热。

3. 绕组接错部位的查找

(1) 交流电机绕组接错

1) 三相绕组相位倒错的查找　三相电动机如有一相绕组极性倒错，检查方法可参照第五章第一节的图 5-3 进行检测。

2) 交流绕组极相线圈组接反的查找　将 3~6V 直流电压接入被检的一相绕组，然后用指南针沿定子内腔铁心表面慢慢移动，如果接线正确，同相相邻两线圈组极性是相反的，即顺次检测时其极性应交替变化，若指南针经过同相相邻线圈组时指向不变，则说明此组接反。但必须注意，这仅是显极布线电动机绕组的极性规律，而还有极少量的电动机是采用庶极布线的，它的所有线圈组极性都是相同的。所以，运用此法查找线圈组接反时必须对三相绕组布线型式充分了解，否则容易出错。

3) 交流绕组个别线圈嵌反的查找　检测方法与线圈组检查相同。但检测时应注意，当指南针在同一组线圈范围内移动时，指针应无明显变动，若指南针在组内出现不定向摆动，则表示该组内有个别线圈嵌反或接反。

(2) 换向器式电枢绕组接错　电枢接错的故障，一般仅发生在散嵌软绕组的直流电机和单相串励电枢。

1) 检测片间电阻查找单叠绕组接错　电枢单叠绕组的一只线圈两引线分别接入相邻换向片上，测量相邻换向片，其电阻值实质是一只线圈与很多线圈电阻的并联值，即近似于一只线圈的电阻值。因此，用欧姆表(或万用表欧姆挡)检测片间电阻的比较可查找接错故障。检测时设相邻两换向片正常电阻值为 R_Z：

剥开，用万用表(R×1 挡)的一表笔接触相引线一端(如图 6-6 的 U_1 端)，另一表笔分别检测线圈(组)各接头的两侧，若焊接质量良好则两侧读数相同，若某接头两侧读数不同，或牵动线头时该读数不稳定，则说明此接头为假焊断路点。

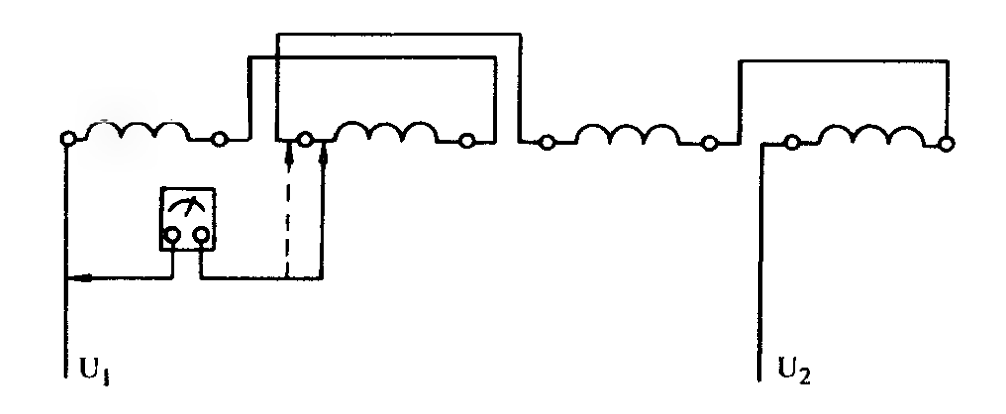


图 6-6　万用表查找断路点

(3) 断路点在接头　如果查出故障点在接头或漏接时，只需将接头的焊锡烫开，把焊接导线清刮干净，绞接后用焊锡加松香重新焊牢。

三、绕组接错故障

交流电机和直流电机都有各自的接线规律，例如，直流电机线圈元件应按节距接入换向片，其接错的型式主要是头尾反接和跳接；交流电机就较复杂，它有线圈极性接反、极相组极性接反、并联支路数接错以及接线型式错误等故障。

绕组接错后，反接线圈的电流方向反向，在直流电机运行时就产生火花，严重时出现环火而烧坏。对三相交流电机则因三相不平衡，不能形成完整的旋转磁场，造成起动困难、运行噪声大和强烈振动，严重时会使电流增大、过热、冒烟烧毁。

1. 重绕电机接错故障原因

(1) 对绕组连接规律不熟悉，或工作疏忽所致；

(2) 嵌线工艺不熟练，将连绕的个别线圈反嵌；

(3) 拆线时原始记录不详细或记错。

2. 绕组接错故障的检查方法

一般可用滚珠检查，即把三相电动机转子抽出，用一粒滚动

1）电阻比较法　用电桥分别测量三相绕组直流电阻，正常时三相电阻相同或相近；如有一相绕组的并联支路开断，则其绕组电阻必然较其余正常的两相为大，若两路并联开断一路，该相电阻值约为正常值的 2 倍；若是三路并联断一路，则该相电阻约为正常值的 1.5 倍。

2）电流比较法　如三相绕组是 Y 形接法，可用单相低压交流电源，如图 6-5 接线，若正常时三相电流大致相同；若相差较大，则电流小的一相有支路开断故障。采用此法需用三个同规格的电流表，如仪表不足时，也可用一只电流表分别测三相，但要注意试验电压必须稳定。

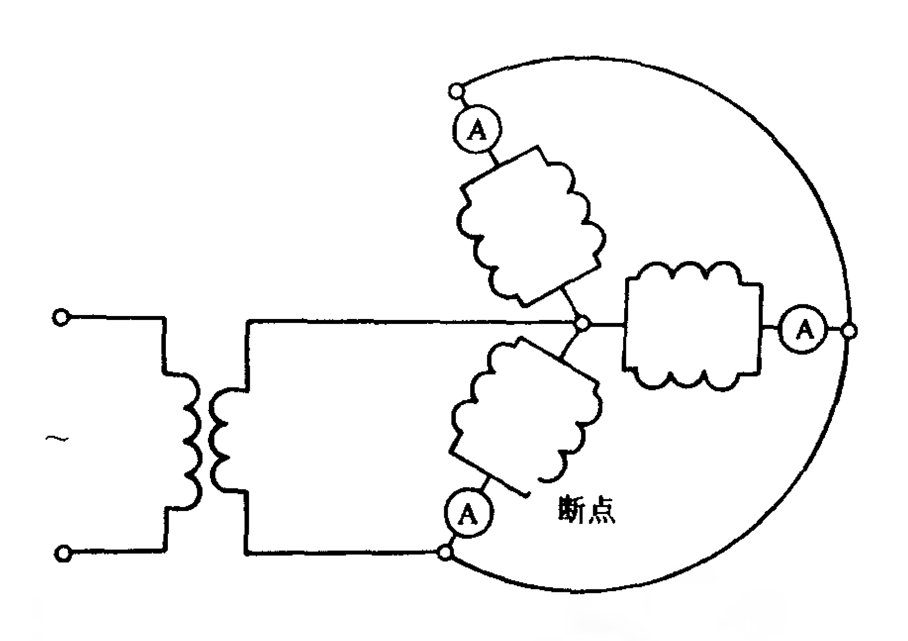


图 6-5　电流比较法检查断路故障

3. 断路故障的查找

(1) 外观检查

1）如果外露的线圈受到机械损伤造成断路，注意观察，一般都可找到断路点；

2）若是槽内断线，多属嵌线质量不佳引起匝间短路，一般在空载试验时会引起发热、冒烟，故可在通电时注意观察，打开后找出黑烟痕迹的故障槽。

(2) 万用表查找断路点　绕组或线圈接头假焊也是造成相绕组断路的主要原因。这时可将有断路故障的相绕组各接头绝缘层

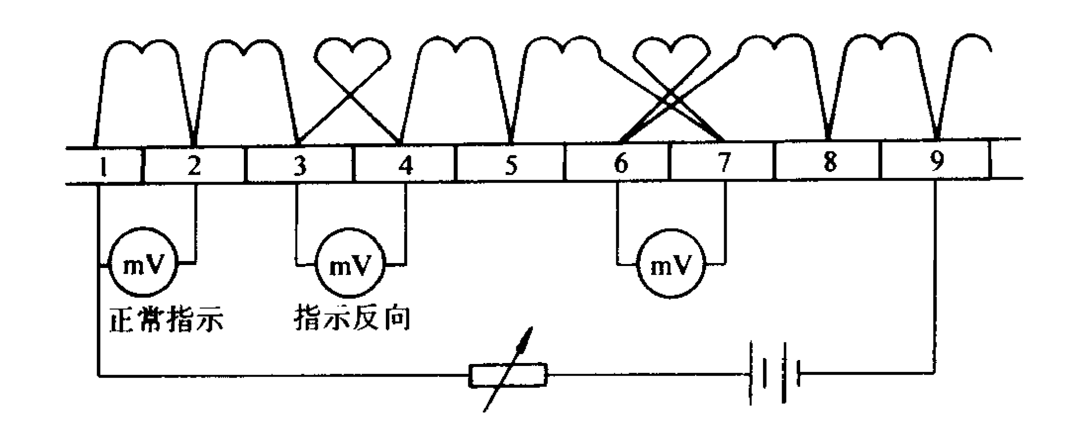


图 6-9 直流片间电压法查找接错

重新绞接焊牢。

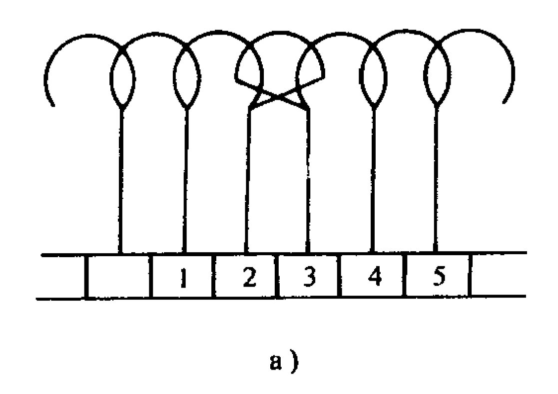
如果是线圈组内个别线圈嵌反，可在接线端部将反嵌的线圈两根过线找到，剪断后换位连接；如是采用连绕工艺而找不到过线，则要将反嵌的线圈从槽中起出，纠正有效边后重新嵌入。

（2）换向器式电枢接错的处理　换向器式电枢绕组接线均通过换向器进行，只要找出接错的元件，将其从换向片中烫出线头，改正后重新焊入即可。

四、绕组短路故障

电机绕组均由绝缘导线绕制，如果导线绝缘层损坏，而引起导线金属之间直接接触便称为短路故障。短路故障有几种形式：如果是在同一线圈内部发生的称匝间短路；如接触发生在不同线圈的称为线圈间短路；如发生在不同相位线圈的称为相间短路。

此外，根据程度不同还可分为间接短路和金属性短路。间接短路是短路点的导线之间通过电阻(如导线绝缘受损、变质而形成的低电阻)进行间接接触的短路故障。这种短路状态极不稳定，对查找故障点带来一定难度，但它通常发生在运行工作中的电动机，对重绕的新绕组极少出现。金属性短路的短路点是金属接触，故又称直接短路，属严重的短路故障。当绕组发生严重短路后，定子磁场的分布不均匀，三相电流也不平衡，电动机运行时会发生振动和噪声；短路线圈经短路点形成环流，将导致线圈严重发热、烧毁。



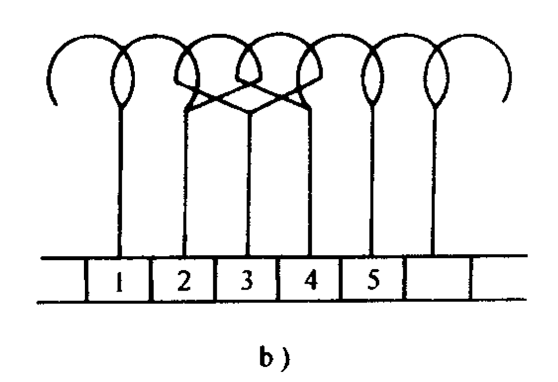


图 6-8　换向器式电枢绕组反接情况

a）一个元件反接　b）两个元件反接

④ 若测得相邻两片电压均正常，但 $U_{1-3}=U_{3-5}=0$，是表示 2-3 号片、3-4 号片所接相邻两元件反接，如图 6-8b 所示。

3）片间直流电压法查找单叠绕组接反　把直流电源(可用二、三节干电池)从相距一定换向片接入，如图 6-9 所示。用毫伏表顺次检测片间电压，设片间电压正常值为 U_Z (可测十对片去掉最大、最小值后取其平均值为 U_Z)这时：

① 检测片间电压均正常，但某组(如图中的 $U_{3\text{-}4}$)指示反向，则说明此元件两引线是调反接入。

② 若某片间电压(如图 $U_{6\text{-}7}$)正常，但其前后片间电压 $U_{5\text{-}6}=U_{7\text{-}8}\approx 2U_Z$，这是说明 6 号片和 7 号片的两对引线焊入换向片的位置对调反接了。

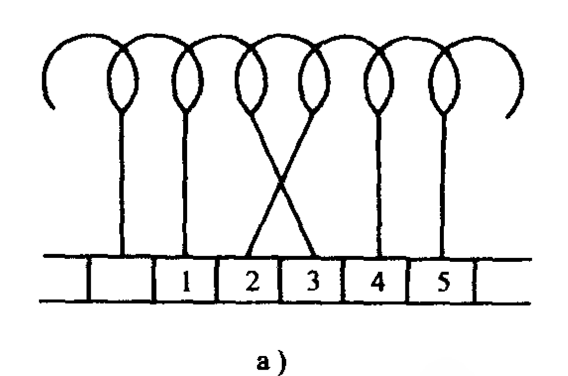
4）单波绕组换向片节距全部接错　检测的方法同图 6-9。正常时所测片间电压均相同，如所测得的相邻片间电压是无规律变化的，即有的有电压，有的无电压时，可移动电源换接换向片位置后再测，若这时出现原来有电压的两片变为无电压，说明接线时的换向器节距不对(即没有按 $y_k=k\pm 1/p=$ 整数所规定去接)，故必须查清原始记录，核对正常后重接。

4. 绕组接错的处理

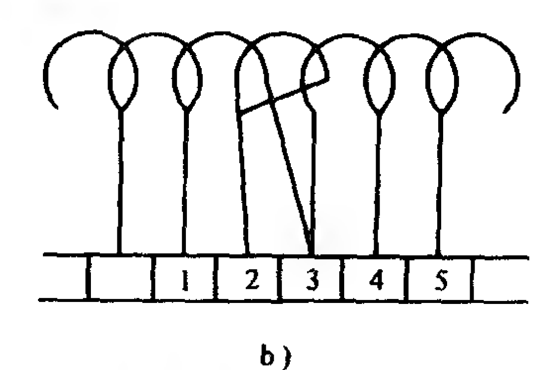
(1) 交流电机反接的处理　交流电机一相绕组反相时可在出线盒的接线板上进行调换，其线端的排序应参考图 2-9 进行。

极相线圈组的反接查出来后，只要把该组两线头拆开，调反

① 如果测某相邻两片阻值如 $R_{1\text{-}2} \approx 2R_Z$ 时，再测 $R_{1\text{-}3} \approx R_Z$，说明 $R_{1\text{-}2}$所接有错，接错情况可参考图 6-7a 所示。即元件连接在 2、3 号片的引线接入换向器时位置调反了。



a）



b）

图 6-7　换向器式电枢绕组接错情况
a）元件引线连接正确，但 2、3 号片的两引线交错了位置
b）一个元件短接另有一元件跳接

② 如果测某两片阻值极大，如图 6-7b 中的 $R_{1\text{-}2} = R_{2\text{-}3} = \infty$，说明在这三片中间的 2 号片所接两引线是同一元件自行短路连接，这时如再测 $R_{1\text{-}3} = R_Z$ 时，则表明 1 号元件的引线从 2 号片错跳接到 3 号片。

2）片间交流电压法查找单叠绕组接错　将电枢转子放在短路探测器上，接通探测器电源后，用交流电压表检测相邻换向片，设片间电压正常值为 U_Z，如果测得片间电压均相同，且多片间的电压为两片电压累加的规律不改变时，表示绕组没有接错并焊接良好；如违反这一规律而出现片间电压为零，或相邻片间电压远远大于 U_Z 时，则说明有接错故障。这时要再作分别判断：

① 若测得 $U_{1\text{-}2} = U_{3\text{-}4} \approx 2U_Z$，且 $U_{1\text{-}3} = U_{2\text{-}3} = U_{2\text{-}4} = U_Z$ 时，则是如图 6-7a 所示，即 2、3 号片的两对引线调反接入。

② 若测得 $U_{1\text{-}2} = U_{2\text{-}3} = 0$，且 $U_{1\text{-}3} = U_Z$，说明接错如图 6-7b 所示；这时如果用铁片(一段废钢锯片)放在 2 号元件的槽口上，必会发生强烈振动。

③ 若测得任意相邻两片电压均正常，但相隔交叉两组电压为零，如图 6-8a 中的 $U_{1\text{-}3} = U_{2\text{-}4} = 0$，则表示 2、3 号片的元件接反。

验中发现，通常损坏程度只限于故障点。因此，找出故障点后，在接地点处加垫相应的绝缘即可。如接地点在槽内，则要把槽楔退出，将该槽线圈边部分线匝从槽口翻出，插入新的槽绝缘再抽去损坏的槽绝缘后，把退出线匝逐根嵌入。最后经用兆欧表检查，再烘干并冷却后通过耐压试验。

二、绕组断路故障

绕组是由线圈组按一定的接线型式连接而成，其中某点断开便称为绕组断路。断路故障有线圈断路、线圈组断路以及并联支路断路等。如果三相交流绕组一相发生断路故障，电动机就很难起动，或即使起动后由完好的两相绕组运行，将使电流猛增而很快发热烧毁。如果绕组是并联接线，若一相中的并联支路开断，则三相电流不平衡，负载运行时绕组会过热，时久也会烧坏。对于凸极式定子绕组断路，电动机将不能有效地形成磁场而无法起动运行。如果是换向式电枢有断路故障，电动机一般仍能起动运转，但换向火花很大，甚至形成环火。

1. 重绕电动机断路故障主要原因

(1) 焊接工艺不良造成假焊、脱焊；

(2) 接线操作不熟练，发生漏接造成断路；

(3) 装配过程受机械冲击砸断导线，或端部整形不合格，喇叭口某处凸出，转子装入时拉断线圈导线；

(4) 绕组导线较细，嵌线时在槽内交叉，滑线板理线时把线圈导线划断而断路；

(5) 绕组存在隐患，试车时发生短路故障而烧断。

2. 断路故障的检查方法

(1) 定子绕组串联回路的检查方法　如果绕组没有并联支路，可用兆欧表、万用表(欧姆挡)或试灯进行检测，若在一相(组)线圈两端检测不通则是断路故障。

(2) 定子绕组并联回路的检查方法

如果并联绕组中有一支路断线，则用上法是不能确认断路故障的，这时可用下列方法进行检测：

第六章 电动机重绕故障及性能调整

电动机重绕故障发生的主要原因是重绕数据不正确、重绕工艺不规范、嵌绕技术不熟练、绝缘材料质量低劣以及绝缘剪裁不合理等造成。重绕故障通常可通过半成品检测中发现，故必须进行妥善处理，排除故障并重新测试合格后才能进入下一工序。

第一节 重绕电机绕组典型故障检修方法

电动机重绕后出现的故障主要分为接地、短路、断路和接错四大类型。当故障发生后，通常会在检测中显现某种异象，但故障的因果关系是错综复杂的，一种故障会产生几个方面的表现，而不同故障又可能呈现相似的表象。作为重绕的电动机，其故障情况一般要比工作运行的电动机简单，其故障点也可通过检测、试验来判断。下面就重绕电动机中出现的典型故障进行分述。

一、绕组接地故障

电机绕组是由绝缘导线绕制，它的任何部位不得与铁心、外壳发生电的交连，而绕组与铁心之间是用绝缘纸(槽绝缘)隔开，称为绝缘。如果绕组与铁心间的绝缘受到破坏而产生直接导电的现象，即称为绕组接地故障。接地故障可能发生在电机槽内或槽外，也可能出现在连线或引线上，只要造成绕组与地(电机金属外壳)的低电阻接触，均属绕组接地故障。

故障发生后，机壳将呈现带电现象，可能导致人身触电的不安全因素；也可能会引起线路的电气设备失控；还会使绕组发热而进一步导致严重故障。所以，有接地故障的电机是不合格产品，必须进行检修处理。

1. 重绕电动机接地故障原因

短路试验应经烘燥后未浸漆前的冷态下进行，这样，一旦发生明显的缺陷可便于补救。为了避免绕组发热，短路试验的时间要尽量缩短，一般每次检测要求在 10s 内完成。此外，较大功率的电动机短路电流也大，试验时应考虑调压设备的容量能否满足，如容量过小则可能会损坏试验设备。

电动机试验项目很多，但作为电机重绕修理，通过上述的检测和试验，基本上足以考核修理的工艺质量及预测运行的性能，这对半成品检测可及早发现重绕上的错误和存在的故障隐患，有利于及时补救。为了确保产品质量的可靠性，一般半成品试验宜作八项(检测四项和试验四项)全检；电机浸烘和装配竣工之后，还需进行绝缘电阻及吸收比、绕组直流电阻、绕组引入接线板极性三项检测和绕组耐压、电机空载及电机堵转等三项重测检验，并作为电机重绕修理成品出厂文件的技术资料。

对于1kW以上电动机，短路电流 $I_K=(1.4\sim1)I_N$ 为合格，而较理想时应为 $I_K=(1.4\sim1.2)I_N$；对1kW以下的电动机，一般约为 $I_K=(1.1\sim0.95)I_N$ 为合格。

（三）单相定压法短路试验

如果不具备三相平衡可调电源，也可采用220V单相交流电进行短路试验。

试验接线如图5-8所示。将220V单相交流电源从电动机接线端输入，测取试验时的电流，并用下式算出短路电流：

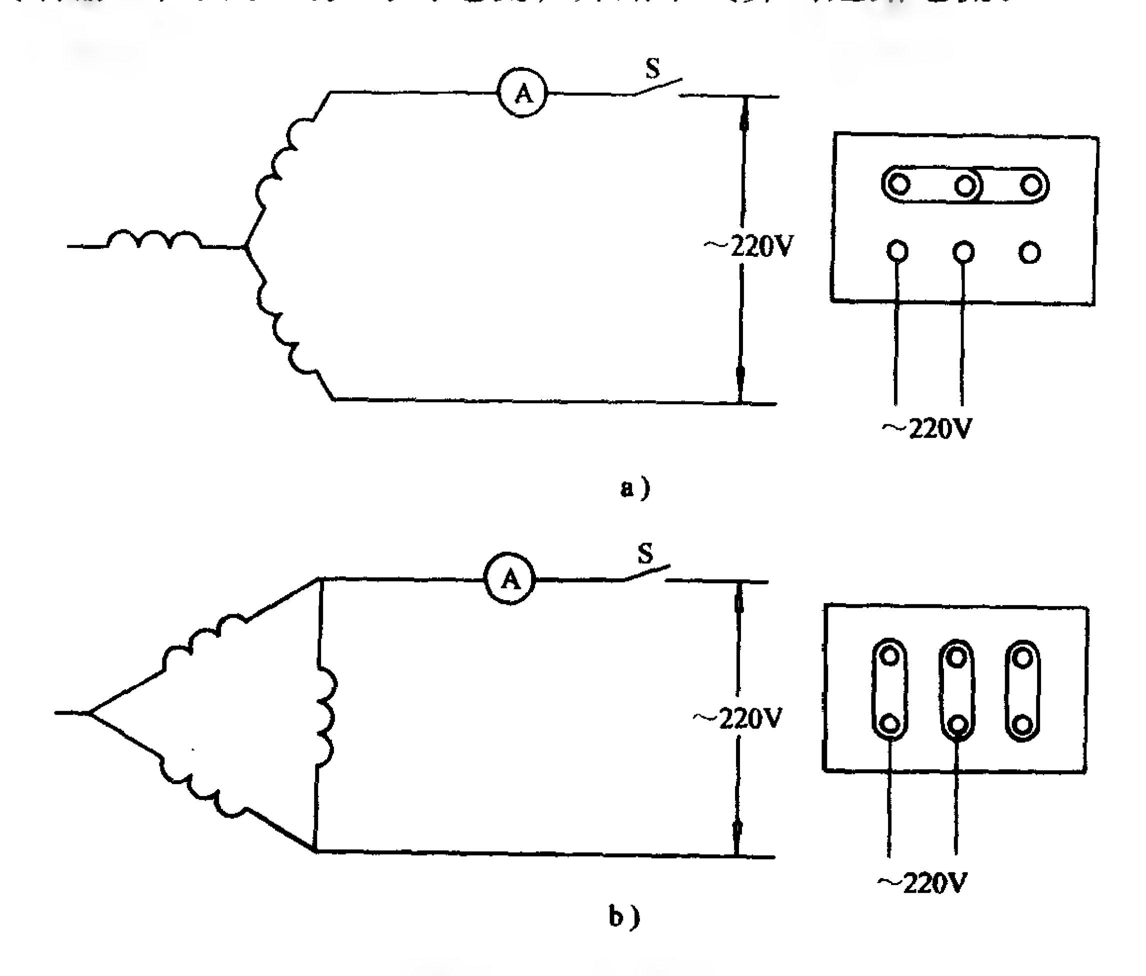


图5-8 单相定压法短路试验的接线
a）星形接法 b）角形接法

$$I_K=\frac{I_C}{2}$$

式中 I_C——单相定压法如图测取的电流值，A。

对短路电流的合格标准与定压法相同，但要求三相短路电流任一相与平均值之差不应超过平均值的(3～4)%。

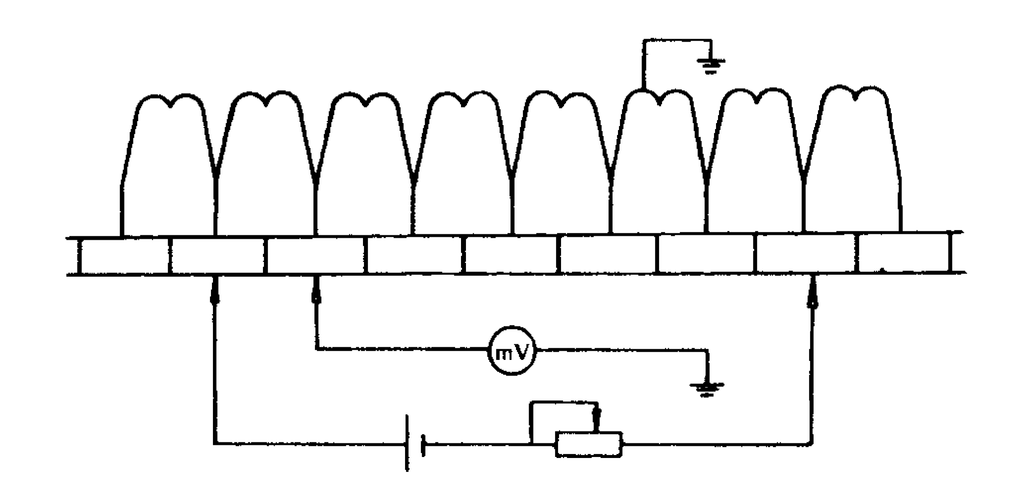


图 6-3　检测电位查找接地点示意图

地所在的一半绕组，从找出接地的一半绕组中再作第二次对半拆开，分别检测后仍将余下的接地部分作第三次对半拆开检测，这样逐渐缩小范围并接近故障点，最后便可确定接地的线圈。

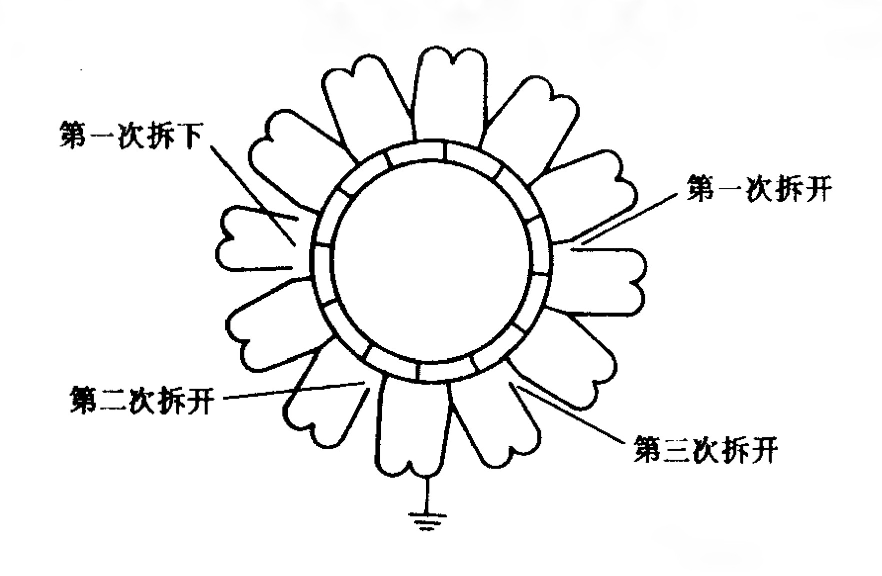


图 6-4　分段接近法查找接地点示意图

4. 利用耐压试验查找接地点

对于重绕电机绝缘薄弱点，有时用兆欧表检测未必能发现问题，但耐压试验时，由于高电压作用下，绝缘的薄弱点就会被击穿，当绝缘击穿时，只要注意观察发出火花的地方，便可找到接地故障点。但观察时要注意安全，不要靠得太近。

5. 绕组接地故障的检修

重绕电机的接地故障，一般都可在半成品绝缘检测和耐压试

中段如图 6-2 的 1-1′处断开，一个测棒接触地(金属外壳)，另一测棒分别接触 1 端或 1′端，假如接地端在 1 端，则再在 2 点将连接点解开，以同样方法检测便可查到接地的线圈，然后从凸极上退出接地线圈，着重检查四角部位，如有破损，加垫绝缘包扎后浸漆烘干。

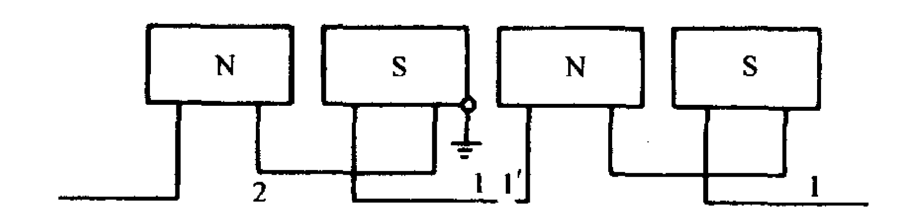


图 6-2　凸极式定子绕组的接地点查找方法示意

2）隐极式绕组的检查　交流三相、单相电动机定子及绕线转子均属隐极式绕组，每极相组由线圈组成。由于同组的线圈采用连绕工艺，嵌入定子后一般很难将线圈元件单独分开，故检查故障时通常都以组为单元，如要落实到线圈，则要改用其他方法进行。查找接地故障线圈组的方法也同显极式绕组。

(2) 直流电枢绕组接地故障检查　直流电枢包括单相串励电动机转子绕组。它的接地多发生在槽口，也有发生在绕组端部对支架接地，此外还可能发生在换向器内部云母绝缘击穿而接地。其检查方法如下：

1）试灯或兆欧表检查　用试灯(或兆欧表)的一检测棒接触铁心，另一检测棒接触换向器，如试灯亮(或兆欧表检测电阻为零)，则电枢有接地故障。此法能方便地确定电枢有无接地故障，但无法找出故障点。

2）电位法查找接地点　将干电池串联可调电阻后接到相距较远的两换向片上，如图 6-3 所示。用直流毫伏表一极接铁心，另一极在换向片上依次检测，并向读数减少的方向移动，当表中读数下降到零时，则此换向片所接的线圈是接地点。

3）分段接近查找接地点　在绕组对半位置的换向片上先分别拆开一片所接的线头，如图 6-4 所示，用兆欧表或试灯找出接

（1）选用的绝缘材料质量不合格，易脆裂或有破损；

（2）绕线模设计过短或过长，如线圈过短将造成嵌线困难，槽口绝缘容易因嵌线而破裂；若线圈过长则端部碰盖，耐压试验时会击穿接地；

（3）嵌线操作技术不熟练，导线在槽内交叉，滑线板将槽绝缘划损；槽绝缘纸在嵌线时移位造成槽口导线碰铁；或槽口绝缘纸开裂；

（4）绝缘漆质量不合格或浸漆未烘干，通电试车时造成绝缘击穿。

2. 接地故障的检查方法

（1）试灯检查　试灯采用220V单相电源，它的组成和线路如图6-1所示。它是电修间最常用的简便测试工具。检查时要把电机用绝缘板垫起，再把试灯电源接通(合上开关S)，两只测棒先碰接检查试灯是否正常发亮，然后用两棒分别接触被测绕组接线端和接地(金属外壳)端，如有接地则试灯发亮。

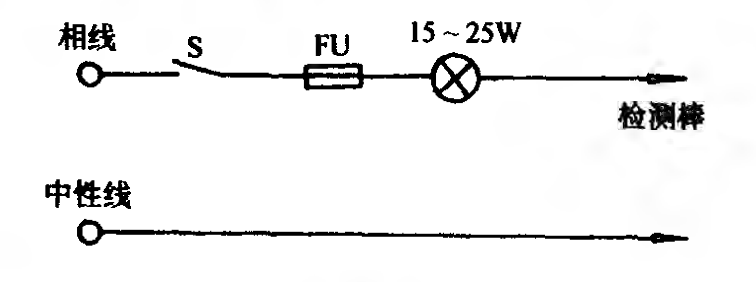


图6-1　检测试灯的接线

（2）绝缘电阻表(兆欧表)检查　兆欧表俗称“摇表”，是电修车间常备的电工仪表。检查时将仪表“L”极接被测绕组线端，另一极“E”接电动机金属外壳。当摇动仪表手柄时，指示为零即表示绕组与地相接。检查绕组绝缘要求见第五章第一节。

3. 绕组接地故障的查找

（1）定子绕组接地故障点查找

1）显极(凸极)式绕组的检查　直流电机、交直流两用串励电动机以及单相罩极式电动机等都是凸极式定子绕组。它的结构简单，每极只有一只集中式线圈，如查出有接地故障，可在绕组

（续）

故障现象	可能原因及处理
（6）电动机时转时不转	（1）电源芯线受损断裂，造成时通时断 （2）开关弹簧失效，造成触头接触不良 （3）电容器软击穿故障，如冷态下正常，工作受热后开断或短路 （4）定、转子间有某点轻微相擦 （5）轴承采用非含油轴承，一旦缺油发热膨胀便“咬死”转轴造成停转 （6）机座下有导线连接脱焊，造成接触不良
（7）电动机温升过高	（1）主、辅绕组局部短路，停机检查 （2）绕组有个别线圈接反，停机检查 （3）磁密选用过高，匝数不足，检验后增加匝数 （4）通风道被杂物堵塞，应予清除 （5）绝缘有破损，局部接地 （6）电源电压过高 （7）轴承缺油引起发热
（8）运行有振动和噪声	（1）轴向窜动超过0.5mm，应加垫调整 （2）轴承磨损，间隙过大 （3）转轴有微弯，个别部位凸出与转子相擦 （4）风扇叶的固定铆钉松脱 （5）风叶套孔与轴的配合间隙过大，运转时晃动 （6）风叶变形，应进行校正、调整 （7）调速电抗器铁心松动，造成电磁噪声
（9）电动机起动打火，外壳麻电	（1）绕组引线绝缘破损碰壳 （2）主、辅绕组间绝缘损坏，引起接地 （3）绕组分布电容引起外壳带电

四、直流电机

表6-4　直流电机重绕故障

故障现象	可能原因及处理
（1）有电源但不能起动	（1）试验配用的负载过重，应减轻负载进行 （2）电刷与换向器接触不良，应检查是否配合过紧或有卡死现象 （3）励磁绕组断路

三、家用电风扇电动机

表 6-3　家用电容式电风扇电动机重绕故障

故障现象	可能原因及处理
(1) 合上电源电动机不转且无声息	(1) 电源未到达电动机绕组，检查熔丝、开关触点是否开断 (2) 检查调速电抗器是否断路，档位开关是否开路 (3) 绕组断路 (4) 电容器开路
(2) 电动机有响声，但转不起来或熔丝爆断	(1) 线路接地或短路 (2) 绕组靠近相线端有接地故障点 (3) 绕组有严重的短路现象 (4) 定、转子间相擦 (5) 风叶，定、转子间隙及摇头机构有杂物卡住
(3) 电动机不能自起动，要靠外力才能起动和反转	(1) 辅绕组断路 (2) 电容器断路
(4) 起动困难	(1) 轴承缺油并有油垢 (2) 轴承安装不正确，同心度差 (3) 滑动轴承磨损后偏心 (4) 电容器失效，容量变小 (5) 主、辅绕组局部有短路 (6) 电源电压过低 (7) 机械装配不正 (8) 转子轴弯
(5) 转速达不到额定值	(1) 轴承缺油 (2) 装配工艺不良使转轴被轻微压弯 (3) 轴承配装不同心，转动不够灵活 (4) 转子断条较严重 (5) 绕组有局部短路现象 (6) 轴承磨损间隙过大

（续）

故 障 现 象	可能原因及处理
（2）空载起动迟缓，在外力帮助下能正、反方向起动	（1）辅绕组回路断线 （2）电容器断路或失效 （3）起动开关触头开路
（3）起动后转速达不到额定值	（1）电源电压过低 （2）电容起动单相电动机起动开关触点粘结或失灵，使辅绕组未能脱离电源 （3）主绕组有局部接线错误 （4）主绕组有局部接地或短路故障 （5）轴承缺油或发热造成摩擦力过大 （6）定、转子铁心有轻微相擦现象
（4）空载运行发热	（1）主、辅绕组相间短路 （2）主绕组有局部短路故障 （3）主、辅绕组倒错，即辅绕组被当作主绕组接入电源运行 （4）电压过高 （5）起动开关触点断不开，使辅绕组长期通电 （6）电容运转电动机空载运行发热属正常现象，如发热过快，可采用小值电容器代替进行空载试验，以检查其他检项
（5）接通电源后熔丝烧断	（1）引出线短路或接地 （2）绕组靠近相线端接地 （3）主、辅绕组严重短路
（6）电动机运行时噪声过大	（1）绕组有局部短路 （2）绕组部分线圈极性接反 （3）起动开关绝缘炭化而接地跳火 （4）转子导条断裂数段而松动 （5）铁心硅钢片松动或断裂引起振动 （6）端部绝缘纸过高 （7）纸屑或其他杂物落入电机腔内 （8）电机风扇叶片松动 （9）风罩开裂或螺栓脱落引起松动 （10）风罩装配不正确，与叶片相擦 （11）轴承间隙过大或轴承油内有砂粒 （12）转子轴向窜动量过大 （13）转子动平衡未校调好

五、交直流两用串励电动机

表 6-5 交直流两用串励电动机重绕故障

故 障 现 象	可能原因及处理
(1) 电动机转不起来	(1) 电源未真正接通，应检修电路各部件及线路 (2) 用电器本身的开关损坏或接触不良 (3) 电刷在刷盒中不能灵活滑动，应修磨电刷，调整弹簧压力 (4) 电刷架装配时未调整而偏离中心线 (5) 换向片间有导电粉末 (6) 绕组有短路或断路故障 (7) 定、转子扫膛卡死 (8) 轴承损坏或装配不正，使转轴被卡死
(2) 接通电源后熔丝爆断	(1) 电源线短路或接地，检查故障点并加强绝缘 (2) 接线头绝缘破损，引起直接接地或短路 (3) 开关接地或短路，更换新开关 (4) 电刷架接地 (5) 绕组接地或短路故障 (6) 电源电压过高，如 220V 电动机误接到 380V 电源
(3) 电动机起动困难	(1) 电源电压过低 (2) 开关接触不良，时通时断 (3) 电刷偏离中性线 (4) 电刷架接地 (5) 定子绕组有短路或接地现象
(4) 电动机转速变慢	(1) 电源电压降低 (2) 电枢绕组有匝间短路 (3) 电刷偏离中性线 (4) 换向片间局部短路 (5) 定、转子间隙有柔性杂物 (6) 轴承缺油、损坏或混合杂物
(5) 电动机转速过快	(1) 电刷偏离中性线 (2) 励磁绕组有匝间短路 (3) 电源电压偏高

（续）

故障现象	可能原因及处理
(8) 换向器发生环火	(1) 电枢绕组有严重的短路故障 (2) 电枢绕组与换向片严重脱焊 (3) 换向极绕组反接 (4) 换向极绕组严重短路
(9) 发电机不能建立电压	(1) 励磁绕组电源极性接反 (2) 并励或复励发电机失去剩磁，应在励磁绕组通入直流电流充磁 (3) 充磁极性不正确 (4) 励磁绕组及变阻器回路有松脱、开断现象 (5) 电机旋转方向与规定转向相反 (6) 磁场回路电阻调整过大 (7) 换向片间有短路现象 (8) 电刷接触不良，云母片高出等
(10) 发电机电压过低	(1) 发电机转速低于额定转速 (2) 磁场电阻过大，检查变阻器是否接错或卡死、接触不良等故障 (3) 励磁绕组有匝间短路 (4) 检查励磁绕组有否接反、短接等故障 (5) 电刷不在正常位置上，应进行调整 (6) 云母片槽落入铜屑等导电体造成片间短路 (7) 串励绕组极性接反 (8) 换向极绕组极性接反 (9) 主极垫片减少，导致气隙增大
(11) 发电机电压不稳	(1) 磁场变阻器接触不良 (2) 励磁回路各接线头有氧化、松脱等现象 (3) 因为刷架松动，电刷接触换向器时出现摇摆，形成相对的中性线不稳定状态 (4) 转速不稳定

（续）

故障现象	可能原因及处理
（2）转速达不到额定值	（1）配试负载过重 （2）励磁电阻过小，励磁电流大于定值，使转速降低 （3）并励绕组短路 （4）电刷偏离中性线
（3）电动机转速过高	（1）电枢电压超过额定值 （2）励磁电流小，应检查励磁回路电阻并正确调整 （3）励磁绕组有匝间短路 （4）检修后漏装主极垫片，致使气隙增大 （5）串励电动机拖动的配试负载过轻 （6）电刷不在中性线上
（4）电动机温升过高	（1）电枢绕组接地或短路 （2）均压线与换向器焊接不良或错接 （3）主极气隙严重不均 （4）并励磁场绕组有局部短路
（5）电枢冒烟	（1）换向器加工后未彻底清理干净，有金属屑落入机内，造成电枢绕组或换向器短路 （2）电动机端电压过低 （3）定、转子铁心相擦，应进行调整使间隙均匀
（6）轴承发热并伴有噪声	（1）轴承内润滑脂过量，应填满轴承后再装入轴承室1/2～2/3即可 （2）轴承磨损或损坏，应更换新轴承 （3）轴承与轴颈配合太松或过盈太大
（7）电刷下火花过大	（1）电刷与换向器接触不良，要使每一电刷的接触面大于75%以上 （2）检查刷握是否松动，并调整紧固 （3）电刷与刷握配合不当，应调整使其灵活滑动，且间隙宽度为0.06～0.3mm，长度间隙为0.07～0.35mm （4）电刷压力大小不一，要求电刷压力在1.5～2.5kPa之间，但必须每刷压力均匀，大小之间不得超过20% （5）换向器表面有油污，应用酒精拭干净 （6）电刷分布不均匀，要进行等分校正 （7）换向器偏心、变形，应车圆处理 （8）电刷牌号不符，要按原规定牌号电刷换上 （9）换向器云母片凸出，应进行刻槽、倒角、研磨 （10）电刷偏离中性线，应进行校正、调整 （11）电枢绕组有较轻微的短路、开焊故障

（续）

故 障 现 象	可能原因及处理
（11）电动机空载运行有振动和噪声异响	（1）转子铁心变形或轴弯 （2）轴承装配过松或轴颈过度磨损、偏心 （3）轴承磨损、间隙过大 （4）定子铁心外径与机座配合不够紧密 （5）定、转子之间有铁屑、铁粉及其他杂物 （6）隔相纸或槽楔过高碰到转子 （7）定子或绕线转子绕组有局部短路或接地故障 （8）笼型转子断条集中在一侧 （9）定子绕组接错，如倒相、极性接反等引起三相不平衡 （10）端盖加工与轴承室不同心，或止口配合过松造成不同心 （11）端盖轴承室磨损过大 （12）改极电动机槽配合不相适应

二、单相异步电动机

表 6-2　单相异步电动机重绕故障

故 障 现 象	可能原因及处理
（1）电压正常，但电动机不起动	（1）起动开关损坏或触点烧毛引起接触不良，应拆卸后进行修理或更换 （2）分相起动电容器失效、电容量过小或断路，要更换元件 （3）主绕组有短路、接地或断路故障 （4）辅绕组有开路故障 （5）定、转子铁心扫膛 （6）轴承缺油、发热后卡死 （7）端盖或轴承装配不正确导致静阻力过大，电动机起动转矩不足以克服 （8）轴承损坏或锈蚀

压器一次绕组。使用时将探测器开口部位放在交流电机被测线圈的铁心槽口(也可跨几槽)，如图 6-12 所示，接通电源后记下电流表读数，再把一段钢锯片放到被测线圈另一有效边所跨的槽口上，如锯片只有轻微吸力振动或无反应，则说明该线圈无短路；若槽内线圈有短路故障，此线圈便相当于变压器二次级，反映到一次的电流读数增大，线圈的短路电流所形成的交变磁场便使锯片发出强烈振动的吱吱声。

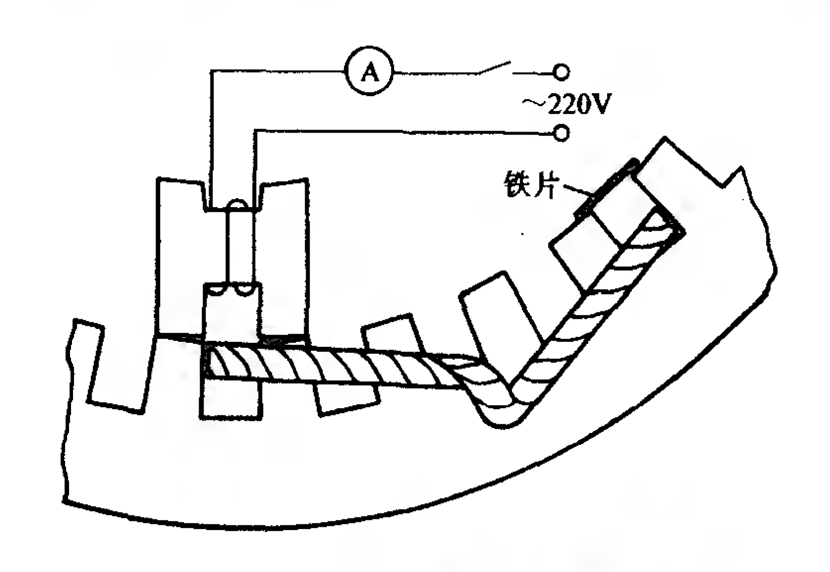


图 6-12 短路探测器查找短路线圈

短路探测器可用于交流电机绕组，也可检测直流电枢绕组，查找短路线圈的效果较好，而且操作简便。但使用时应注意：

1）对具有闭合回路的并联接法和△形接法的交流电机绕组，应人为地将其闭合回路开口，否则，即使线圈无短路，也会发生类似短路故障的现象；

2）短路探测器除用于交流电机及直流电枢绕组外，还可用于检测换向片短路引起的故障。

(4）利用耐压试验查找短路点　如果是相间绝缘薄弱环节引起的击穿短路，而且故障点在端部时，可利用耐压试验的击穿时产生的火花位置找出故障点。

4. 绕组短路故障的检修

由于短路故障点的部位和存在形式不同，其处理方法应视具体情况而定。

分别测量各组线圈的电压降，如图 6-10 所示。如读数相差较大时，读数最小的即是短路故障线圈组(检查分数绕组时,应把线圈数相同的组作比较,或将每组压降换算到每只线圈作比较)。如能将组内线圈连线找出来，则同理可用压降法确定压降最小者是短路线圈，如无法将线圈区分开来，就要通过其他方法确定短路线圈。

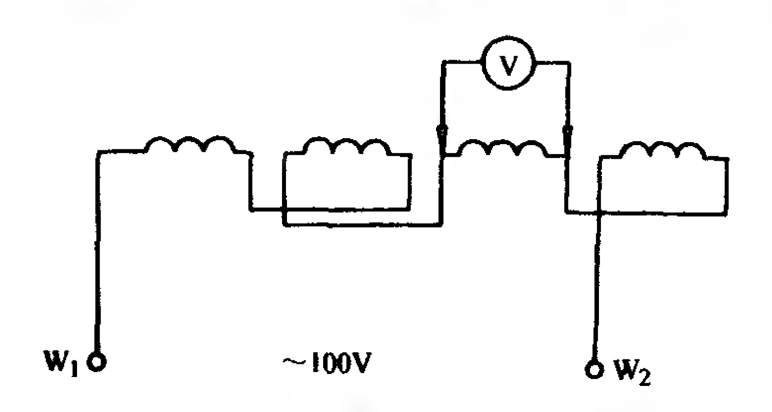


图 6-10　交流压降法查找绕组短路点

(2) 直流压降法查找直流电枢短路线圈　此法适用于直流电机和单相串励电枢绕组。检查时在换向器相对位置接入直流电源，如图 6-11 所示，用电压表依次测量相邻两换向片间电压，正常时毫伏表应有读数(如读数过小,可将限流电阻 *R* 值调小)；若检测读数降低很多或至零，则该两换向片所接的线圈或换向片间短路。

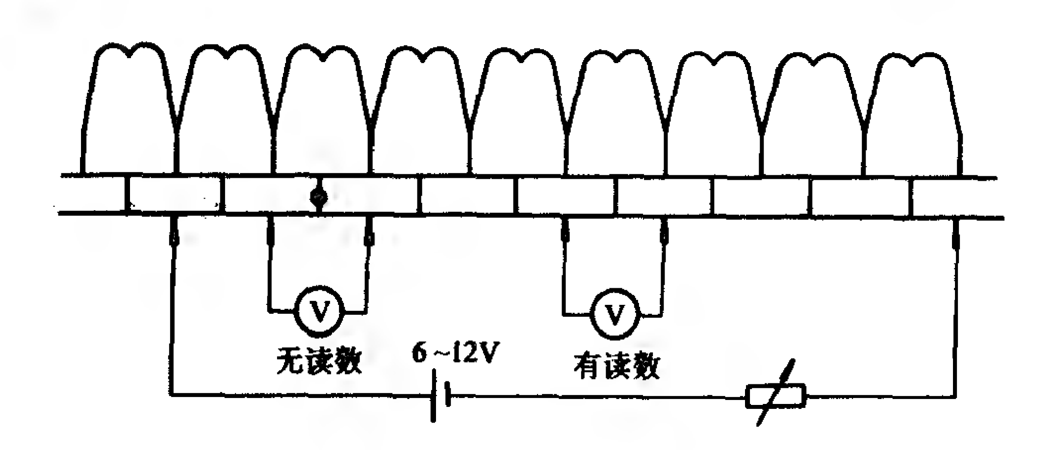


图 6-11　直流压降法查找电枢短路

(3) 短路探测器检查法　短路探测器是由硅钢片叠装而成的开口变压器，但只有一只线圈绕在横向铁心上，其作用相当于变

1. 重绕电动机短路故障的原因

(1) 使用不合格或过期的漆包线绕制线圈;

(2) 端部绝缘或层间绝缘设计不合理, 不能有效地把相间线圈隔开而形成绝缘薄弱环节, 耐压试验时被击穿短路;

(3) 滑线工具不良或划线时用力过猛, 造成槽内导线绝缘漆层脱落;

(4) 嵌线、整形操作不熟练, 造成层间或相间绝缘移位后未校正, 耐压试验时被击穿;

(5) 选用的绝缘漆与绝缘导线的相容性差, 浸漆后漆皮被蚀, 绝缘性反而下降;

(6) 绕组修理或装配过程受到机械碰伤造成绝缘损坏, 引起短路故障;

(7) 线模设计不合理, 如绕制的线圈尺寸过小, 嵌线难度增加, 容易造成线圈导线绝缘损伤而发生短路;

(8) 绕线转子集电环绝缘不合格, 耐压试验时引起短路;

(9) 换向器式电枢焊接时焊锡落入相邻片间云母槽内, 或流到接线槽后面引起短路。

2. 短路故障的检查方法

(1) 电阻检查法　如果绕组短路比较严重, 可通过各相绕组的直流电阻测量来确定短路故障。一般来说, 若线圈匝数正确, 当一相绕组直流电阻值超过第五章第一节要求时, 便有可能是短路故障造成。

(2) 空载电流检查法　如果检查三相直流电阻相差不大, 而电动机接线正确, 但空载运行时三相电流出现 ±20% 以上的严重不平衡时, 再经电源调相检验而空载电流不随电源调换改变时, 说明电流大的一相绕组可能存在短路故障。

3. 短路故障点的查找

(1) 交流压降法查找短路点　此法适用于交流电机绕组和直流电机定子绕组。检查时将故障绕组(对交流电机是相绕组)各连接线端的绝缘剥开, 从绕组两端输入 100V 左右的交流电压, 然后

（续）

故障现象	可能原因及处理
（6）短路电压过低，堵转电流不合格	（1）气隙磁密 B_g 选用过小，定子绕组匝数不足 （2）双层绕组节距缩短，可适当增加匝数 （3）定、转子铁心未对齐，可进行压装调整 （4）定转子气隙大，槽口铁心修整过度，定子铁心拆片过多等引起铁心性能变坏，可参考第六章第三节进行调整
（7）短路电流过小，效率过低	（1）转子导条质量有缺陷或断条，查出后重焊、重铸或更换转子 （2）定子绕组并联误接为串联，或多并联误接为少并联支路 （3）双层绕组改为单层绕组未进行匝数换算 （4）匝数过多，致使各部磁密过低
（8）空载试车温度高	（1）电源电压过高 （2）定子绕组接线原是Y接误改为△接 （3）定子绕组有接地、短路故障 （4）起动后熔丝烧断一相造成单相空转 （5）定、转子有拖底、碰擦现象 （6）铁片间绝缘漆质量不好，铁心片间短路，涡流过大 （7）电机绕组浸漆后未完全烘干，泄漏电流大 （8）通风散热条件不完善 （9）轴承发热引起机身过热
（9）轴承发热	（1）滚道或滚珠局部疵损，更换轴承 （2）轴承过度磨损，更换轴承 （3）轴承润滑脂内混入灰、砂或其他杂物，更换油脂 （4）润滑脂过量，应填满轴承室的1/3～1/2空间即可 （5）轴承装配未到位或未装正，重新正确装配 （6）端盖轴承座不同心，需重新加工
（10）机壳带电	（1）线圈过长造成端部碰盖接地 （2）线圈槽口或其他部位有接地故障 （3）连接线头绝缘破损接地

一、三相异步电动机

表 6-1　三相异步电动机重绕故障

故障现象	可能原因及处理
(1) 电动机不能起动，且无声息	(1) 电源实际未接通，应检查电源有无电，开关是否真正接通 (2) 控制电源故障，接触器未吸合
(2) 电动机不能起动，伴有嗡嗡声	(1) 单相故障，检查电源、开关、熔断器、接触器以及线路可能有一相开断 (2) 电动机绕组内部断相，参照第六章第一节检修 (3) 绕线转子回路开路，检查电刷有否卡死，起动电阻有否断路，如短路环触头发热变质、变形则应换新 (4) 电动机出线盒或线路各点接线螺栓松脱，或接头氧化造成接触不良 (5) 定子绕组内部有极相组反接，或一相绕组出线反相，可参照第五章第一节检修 (6) 定转子铁心严重扫膛
(3) 接通电源后熔丝爆断	(1) 单相起动，分别检查绕组和线路各元件，找出断相点 (2) 电动机或线路有接地或短路故障 (3) 熔丝选择过细，应按 $I_{熔}=(2.5\sim3.5)I_N$ 进行选择
(4) 空载电流不平衡	(1) 定子绕组出线一相首尾反相，或部分线圈反接 (2) 定子绕组部分线圈在并联支路上开断 (3) 定子线圈绕线匝数不等，或存在匝间短路 (4) 电源电压不平衡，但可用调相消除
(5) 空载电流偏大	(1) 电源电压过高 (2) 定子绕组Y形误接为△形，应按铭牌改接 (3) 定子匝数少，气隙磁密选取过高 (4) 双层绕组节距比原来缩短 (5) 定子绕组误接成多路并联 (6) 铁心导磁性能变差，可参考第六章第三节进行重绕参数调整 (7) 气隙偏大，定、转子铁心错位造成有效长度减少，可将转子铁心压装到正确位置

（1）相间短路的处理　重绕电机短路故障较多出现在相间，而且多数由于相间绝缘不到位或绝缘纸开裂造成薄弱点，在耐压试验时被击穿。如果故障点在端部，则端部隔相纸部位及靠近槽口的上下层线圈间等部位应为检查的重点。若表面找不到故障点，可解开绑扎线，翻查线圈端部，检查有无遗漏线匝未被隔相纸隔开，如有遗漏，先将被击穿绝缘的导线包好，重新隔相。此外，要将相间绝缘重新整理一遍，一定要将其伸到槽口；对双层绕组则要与层间绝缘纸重叠，使之有效地把不同相的线圈隔开。然后重新绑扎、整理端部后，用兆欧表检查合格后再耐压试验。如果故障点在槽内上下层之间，这时要将上层线翻出，找出被击穿绝缘的导线进行包扎后，重新插入层间绝缘，再把上层线匝嵌入。

（2）同相线圈间短路的处理

1）如果短路点发生在绕组端部，可将绑扎线解开，把短路的线匝用绝缘分别包扎隔开，再将端部复原处理即可；

2）如果短路点在通电时不能发现，翻开端部也找不到绝缘破损处，则短路点可能发生在槽内，这时要退出槽楔，把故障线圈边从槽口起出，直至找到损坏的线匝，包扎绝缘后重新嵌入。

（3）匝间短路的处理　线圈自身线匝短路可能发生在端部，也可能在槽内以及槽口附近。其处理方法可参考同相线圈短路的内容。

第二节　电动机重绕试车故障及原因

电动机重绕修理，经检测后还必须进行通电试车，通过空载试验可发现修理工艺不良等因素在重绕过程中对绕组造成损伤所留下的隐患。因此，为保证重绕电动机性能和修理质量，大修后的电动机都必须按新电机项目进行一系列检测、试验。但通电试验有空载和负载两项，而对重绕电机则一般只做空载试验，并通过空载试车检测各项技术指标，使试车中暴露出来的问题在未成为成品之前予以消除，从而确保重绕修理质量。下面所列表6-1～表6-5是各种电机重绕后可能发生的故障及其原因，以供试车时参考。

（续）

类别	型号	功率/W	电压/V	极数	定子铁心				主绕组			辅绕组			调速绕组Ⅰ			调速绕组Ⅱ		
					外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	线径/mm	节距	线圈匝数	线径/mm	节距	线圈匝数	线径/mm	节距	线圈匝数	线径/mm	节距	线圈匝数
扇风用电动机	YYKF-120-4（JF120）	120	220	4	139	82	40	36	0.42	1—9 2—8 3—7	139 123 88	0.31	5—14 6—13 7—12	88 220 280	0.31	6—13 7—12	220 88	0.42	1—9 2—8 3—7	35 31 24
	YYKF-120-4（JF120）	120	380	4	139	82	40	36	0.33	1—9 2—8 3—7	227 198 143	0.29	5—14 6—13 7—12	175 207 216	0.29	6—13 7—12	207 175	0.29	1—9 2—8 3—7	58 50 36
	KFD-2B6P	50	200	6	120	68	37	24	0.29	1—5 2—4	160 180	0.27	3—7 4—6	90 90	0.23	4—6	120	—	—	—

注：1. 调速绕组Ⅰ的安排与辅绕组同相位，构成L-2型接法；调速绕组Ⅱ的安排与主绕组同相位，构成L-1型接法。

2. 线圈匝数中括号内数字是修理电动机拆线时的实测记录数据，仅供参考。

附表 22 部分空调机用电容式电动机铁心、绕组技术数据

类别	型号	功率/W	电压/V	极数	定子铁心 外径/mm	定子铁心 内径/mm	定子铁心 长度/mm	定子铁心 槽数	主绕组 线径/mm	主绕组 节距	主绕组 线圈匝数	辅绕组 线径/mm	辅绕组 节距	辅绕组 线圈匝数	调速绕组Ⅰ 线径/mm	调速绕组Ⅰ 节距	调速绕组Ⅰ 线圈匝数	调速绕组Ⅱ 线径/mm	调速绕组Ⅱ 节距	调速绕组Ⅱ 线圈匝数
扇风用电动机	日立		220	4	158	98	42	36	0.46	1—9 2—8 3—7 4—6	(163) (144) (107) (57)	0.41	6—13 7—12 8—11	(111) (90) (59)	0.31	5—14 6—13 7—12	(38) (72) (59)	—	—	—
	RRMB1867		220	4	132	82	47	36	0.49	1—9 2—8 3—7	(112) (99) (73)	0.31	5—14 6—13 7—12	(80) (80) (82)	—	—	—	0.38	2—8 3—7	(63) (57)
压缩用电动机	日立 ND7505BX	750 (60Hz)	220	2					0.93	1—12 2—11 3—10 4—9 5—8	(39) (37) (31) (24) (15)	0.77	7—18 8—17 9—16	(46) (42) (37)	—	—	—	—	—	—

附表 21　单相潜水电泵电动机铁心、绕组技术数据

型号	功率/kW	定子铁心 外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	起动方式	定子绕组 极数	型式		每极匝数	线圈匝数	节距	线规/mm
QDX3-8-0.18 QDX6-5-0.18	0.18	110	58	55	24	电阻起动	2	正弦绕组	主	253	68、63、54、42、26	1—12、2—11、3—10、4—9、5—8	0.63
									辅	158	42、40、34、26、16	7—18、8—17、9—16、10—15、11—14	0.40
QDX3-10-0.25 QDX6-7-0.25	0.25	110	58	62	24	电阻起动	2	正弦绕组	主	199	53、49、43、33、21	1—12、2—11、3—10、4—9、5—8	0.71
									辅	148	40、37、32、24、15	7—18、8—17、9—16、10—15、11—14	0.42
QDX3-14-0.37 QDX6-10-0.37 QDX10-7-0.37	0.37	128	67	63	24	电容起动	2	正弦绕组	主	187	50、47、40、31、19	1—12、2—11、3—10、4—9、5—8	0.80
									辅	157	42、39、34、26、16	7—18、8—17、9—16、10—15、11—14	0.50
QDX3-18-0.55 QDX6-14-0.55 QDX10-10-0.55 QDX15-7-0.55	0.55	128	67	78	24	电容起动	2	正弦绕组	主	149	40、37、32、25、15	1—12、2—11、3—10、4—9、5—8	0.90
									辅	176	47、44、38、29、18	7—18、8—17、9—16、10—15、11—14	0.50
QD3-15J QD6-9J QD7.8-6.5J	0.4	125	65	60	24	电容起动	2	正弦绕组	主	144	43、40、35、26	1—12、2—11、3—10、4—9	0.80
									辅	200	60、56、48、36	7—18、8—17、9—16、10—15	0.55

附表 24　电动工具专用串励电动机铁心、绕组技术数据

规格 /mm	功率 /W	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	效率 (%)	功率因数	定子铁心				气隙 /mm	转子数据					换向片数	定子数据		
							外径 /mm	内径 /mm	长度 /mm	极宽 /mm		槽数	元件匝数	总导体数	线径 /mm	实槽节距		极数	每极匝数	线径 /mm
	80		0.8	8000					38				53	2862	0.21				315	0.41
φ56	140	220	1.0	14000	60	0.965	56	31		24			36	1944	0.23				247	0.33
	204		1.57	14300	62.3	0.952			50				27	1458	0.27				197	0.28
	164	36	9.6	8900							0.35	9				4	27			
φ62							62		38				5	270	2—0.47				36	3—0.56
	184		1.6	12600									32	1728	0.27				216	0.42
φ71	275		2.1	12100	63.8	0.939	71	39	44	31	0.45		20	1320	0.33				185	0.49
	385		2.71	13200	68	0.955			52				17	1122	0.38				138	0.55
φ80	310	220	2.4	13000			80		38		0.5	11	19	1245	0.42	5	33	2	152	0.57
	450		3.2	11300					48				17	1122	0.44				144	0.59
	550		4.1	9900	68.2	0.917							13	988	0.49				134	2—0.49
φ90	770		5.42	13200	69	0.936	90	51	52	38	0.6	19	10	760	0.57	9	38		116	2—0.55
	1250		8.05	12500	75	0.94			76				8	608	0.64				80	2—0.64

（续）

型号	功率/W	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	定子铁心 极数	定子铁心 外径/mm	定子铁心 内径/mm	定子铁心 长度/mm	气隙/mm	转子数据 槽数	转子数据 元件匝数	转子数据 总导体数	转子数据 线径/mm	转子数据 实槽节距	换向片数	定子数据 每极匝数	定子数据 线径/mm	气隙磁密/T	转子电密/(A/mm²)	定子电密/(A/mm²)	线负载/(A/cm)
G5616	180	220	1.51	6000	2	90	50	35	0.5	13	31	2418	0.33	6	39	243	0.49	0.45	8.83	8.03	118.5
G5618	250		1.95	8000							24	1872	0.38			226	0.55	0.47	8.63	8.23	118
G5624	180		1.7	4000				50			29	2262	0.35			195	0.53	0.44	8.85	7.72	125
G5626	250		2.05	6000							22	1716	0.41			179	0.57	0.455	7.76	8.03	114
G5628	370		2.81	8000							17	1326	0.47			166	0.64	0.478	8.12	8.75	121
G5634	250		2.32	4000				65			22	1716	0.41			152	0.59	0.445	8.8	8.5	128.7
G5636	370		3.02	6000							16	1248	0.47			144	0.67	0.465	8.73	8.56	122.2
G5638	550		4.05	8000							12	936	0.55			123	0.77	0.52	8.54	8.7	121.5
G7114	370		3.22	4000		120	69	42	0.9	19	17	1938	0.49	9	57	156	0.69	0.5	8.55	8.6	148
G7116	550		4.1	6000							13	1482	0.55			132	0.77	0.51	8.65	8.8	144
G7124			4.72	4000				60			12	1368	0.59			112	0.83		8.64	8.7	153
G7126	750		5.5	6000							9	1026	0.64			100	0.93	0.52	8.56	8.1	133.7

附表 23　G 系列串励电动机铁心、绕组技术数据

型号	功率 /W	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	定子铁心				气隙 /mm	转子数据					换向片数	定子数据		气隙磁密 /T	转子电密 /(A/mm²)	定子电密 /(A/mm²)	线负载 /(A/cm)
					极数	外径 /mm	内径 /mm	长度 /mm		槽数	元件匝数	总导体数	线径 /mm	实槽节距		每极匝数	线径 /mm				
G3624	15	220	0.208	4000	2	56	30	30	0.3	8	137	6576	0.12	3	24	685	0.18	0.355	9.2	8.2	74.1
G3634	25		0.324					38			104	4992	0.15			536	0.23	0.37	9.12	7.81	87.5
G3636	40		0.418	6000							77	3696	0.17			470	0.25	0.39	9.21	8.5	83.6
G3638	60		0.52	8000							62	2976	0.20			445	0.29	0.41	8.91	8.49	90.1
G36312	90		0.775	12000							47	2256	0.23			366	0.33	0.413	9.35	9.06	94.5
G4524	60		0.62	4000		71	39	40	0.35	12	51	3672	0.21	5	36	362	0.31	0.41	8.96	8.22	94.6
G45212	180		1.3	12000							25	1800	0.31			192	0.44	0.43	8.61	8.55	97.1
G4534	90		0.907	4000				50			39	2808	0.25			290	0.38	0.425	9.24	8.02	106
G4536	120		1.02	6000							33	2376	0.27			240	0.41	0.42	8.95	7.73	101
G4538	180		1.36	8000							26	1872	0.31			195	0.44	0.45	9	8.95	105.8
G45312	250		1.8	12000							19	1368	0.38			167	0.51		7.96	8.82	102.2
G5614	120		1.145	4000							42	3276	0.29			266	0.44	0.43	8.67	7.53	121.8

（续）

类型	牌号	型号规格	极数	槽数	主绕组 线径/mm	主绕组 匝数	辅绕组 线径/mm	辅绕组 匝数	调速电抗器 线径/mm	调速电抗器 档位匝数	电容/μF
1200毫米吊扇	红山花	FC-120	16	32	0.27	260	0.23	385			1.5
	牡丹	FC-120	14	28	0.25	295	0.23	340	0.27	420 + 220 + 200 + 160	1.8
	海鸥	FC-1200	14	28	0.23	330	0.19	510			1.2
	金钟	FC-5-1200	14	28	0.25	320	0.21				
	宝波	FC-4801	14	28	0.25	300	0.25	300	0.25	720 + 100 + 100 + 150	2.2
	神鸟	FC2-6	14	28	0.21	370	0.21	370		电子无级调速	
	乘风	乘-1200			0.29	270	0.27	310			
	钻石	钻-1200	18	36	0.25	560 × 9	0.21	680 × 9			2
	高能	高-1200	14	28	0.21	382 × 14	0.17	506 × 14			1
	蝴蝶	蝶-1200	16	32	0.23	300	0.23	300	0.25	1130	2
	骆驼	FD2-2-1200	16	32	0.27	304	0.27	300			1.2
1400毫米吊扇	牡丹	FC-140	18	36	0.29	280	0.27	300	0.29	500 + 180 + 140 + 130	2.4
	红山花	FC-140	16	32	0.27	290	0.25	365			2
	三峡	FC-20	16	32	0.25	480 × 8	0.23	600 × 8			1.8
	长城	FC4-140	18	36	0.27	280	0.25	328	0.27	450 + 150 + 200 + 170	
	金钟	FC-5-1400	16	32	0.27	320	0.25				
	神鸟	FC2-7	16	32	0.29	270	0.27	310		电子无级调速	
	蝴蝶	蝶-1400	16	32	0.23	300	0.23	300	0.25	1130	2.5
	乘风	乘-1400			0.27	330	0.23	355			
	高能	高-1400	18	36	0.25	280 × 18	0.25	325 × 18			2.4
	钻石	钻-1400	18	36	0.21	560 × 9	0.25	616 × 9			2
	钻石	钻-1400	18	36	0.29	236 × 18	0.25	320 × 18			2

（续）

类型	牌号	型号规格	极数	槽数	主绕组 线径/mm	主绕组 匝数	辅绕组 线径/mm	辅绕组 匝数	调速绕组 线径/mm	调速绕组 匝数	电抗器 线径/mm	电抗器 匝数	电容/μF
400毫米台扇	三峡	FT-40	4	16	0.21	670×4	0.17	880×4		（H型）			1.8
	菊花	FT-40-5A FT-40-6	4	16	0.21	710×4	0.17	550×4	0.17	150×4 +280×4			
	海鸥	FT4010C	4	8	0.23	530×4	0.17	890×4			0.23	600+230	1.2
	居友	FT2-40	4	8	0.23	530×4	0.19	850×4			0.23	850+150	1.2
	雪花	FT2-40P	4	8	0.23	530×4	0.18	840×4	0.23	1090			
	长城	FT4-40	4	16	0.21	710×4	0.17	935×4			0.21	600+600+200	
	金龙	FT4-4	4	16	0.17	800×4	0.15	550×4	0.15	150×4 +350×4			
	双菱	FT5-40 FT6-40	4	16	0.18	650×4	0.19	630×4			0.23	300+270+550	
		FT7-	4	12	0.19	630×4	0.17	920×4	0.17	270×4			
	飞鹿	FT5-40	4	16	0.21	730×4	0.17	930×4			0.17	650+350+40	
	冬梅	FRT3-4	4	8	0.23	555×4	0.19	750×4			0.23	680+260	
	桐柏山	KYT-40	4	16	0.23	570×4	0.19	720×4			0.23	700+650+500	
壁扇	旋风	FB-40P	4	16	0.23	570×4	0.19	720×4			0.19	1260+700	
鸿运扇	红山花	FX-30	4	16	0.18	890×4	0.18	600×4	0.18	55+235			1.5

（续）

类型	牌号	型号规格	极数	槽数	主绕组		辅绕组		调速绕组		电抗器		电容 /μF
					线径 /mm	匝数	线径 /mm	匝数	线径 /mm	匝数	线径 /mm	匝数	
400毫米台扇	华生	400	4	8	0.25	475×4	0.19	790×4			0.25	600+300	1.35
	蝙蝠	400	4	12	0.21	600×4	0.16	500×4	0.16	140×2			1.2
				16	0.21	600×4	0.19	560×4	0.19	180×2			1
	骆驼	400	4	16	0.21	710×4	0.17	1000×4			0.23	45+200+250+530	1.2
	双马	400	4	16	0.21	720×4	0.17	930×4					1.2
	蝴蝶	400	4	8	0.19	520×4	0.19	700×2	0.19	700×2（T型）			1.5
	钻石、金鹿	400	4	16	0.23	570×4	0.19	720×4					1.2
	千叶	D40TE	4	16	0.21	700×4	0.19	950×4	0.19	900+1600			
	五羊、高宝	400	4	16	0.21	700×4	0.17	560×4	0.17	320×4			1.5
	乐山	FD_1	4	16	0.18	900×4	0.15	530×4	0.15	L-2型 530+530×3			1
		FD_2	4	16	0.19	750×4	0.18	480×4	0.18	L-2型 480+480×3			1.2
	扬子	FT-40	4	8	0.23	530×4	0.19	790×4			0.23	950	
	旋风	FT-40P FT_2-40P	4	16	0.23	570×4	0.19	720×4			0.23	1260+700	
	红山花	GFT-40	4	8	0.23	500×4	0.19	780×4		0.23		350+550+200+40	1.2
		FT1-40	4	16	0.23	580×4	0.19	500×2	0.19	150+150L型			1.2

附表 19　国产常用牌号电扇电容式(220V)电动机绕组数据

类型	牌号	型号规格	极数	槽数	主绕组		辅绕组		调速绕组		电抗器		电容/μF
					线径/mm	匝数	线径/mm	匝数	线径/mm	匝数	线径/mm	匝数	
300毫米台扇	五羊、高宝	300	4	16	0.17	820×4	0.15	580×4	0.15	500×4			1.0
	五羊	300	4	16	0.17	800×4	0.15	600×4	0.15	400×4			1
	庐山	KYEI-300	4	12	0.15	400×4	0.17	500×4	0.17	250×4			
	华生、金碟宝石花	300	4	16	0.17	800×4	0.15	1000×4					1
	蝙蝠	300	4	12	0.16	770×4	0.15	600×4	0.15	200+200			1
	天鹅	300	4	16	0.19	800×4	0.15	960×4					
	航海	300	4	16	0.15	840×4	0.15	900×4					
	海鸥	300	4	16	0.17	800×4	0.15	1000×4					1.2
350毫米台扇	华生	350	4	8	0.23	560×4	0.19	790×4					1.2
	高宝、五羊	350	4	16	0.19	750×4	0.17	480×4	0.17	480×4			1.2
	钻石、友谊双马	350	4	16	0.21	720×4	0.17	930×4					
	春雷	350	4	16	0.17	750×4	0.15	600×4	0.15	500×4			
	蝙蝠	350	4	12	0.19	750×4	0.16	550×4	0.16	200+200			1
	飞鹿	FT3-35	4	16	0.19	780×4	0.15	900×4			0.19	85+400	

附表20 国产常用牌号吊扇电容式(220V)电动机绕组数据

类型	牌号	型号规格	极数	槽数	主绕组 线径/mm	主绕组 匝数	辅绕组 线径/mm	辅绕组 匝数	调速电抗器 线径/mm	调速电抗器 档位匝数	电容/μF
900毫米吊扇	牡丹	FC-90	12	24	0.19	410	0.17	500	0.21	560+170+200+110	1.22
	宝波	FC-3601	14	28	0.21	370	0.21	370			1.5
	神鸟	FC1-4	14	28	0.21	550	0.19	840		电子无级调速	
	蝴蝶	蝶-900	14	28	0.23	360	0.19	500	0.25	1130	1
	钻石	钻-900	14	28	0.21	552×7	0.17	832×7			1.2
	高能	高-900	14	28	0.21	382×14	0.17	506×14			1
1050毫米吊扇	牡丹	FC-105	14	28	0.21	360	0.19	460	0.27	420+220+200+160	1.2
	红山花	FC-105	14	28	0.23	320	0.21	450			1.2
	宝波	FC-4201	14	28	0.23	330	0.23	330	0.23	650+100+100+150	1.8
	长城	FC2-105	14	28	0.23	350	0.19	505			
	神鸟	FC2-5	14	28	0.21	370	0.21	370		电子无级调速	
	金钟	FC-5-1050	14	28	0.23	325	0.21				
	华生	华-1050	18	36	0.27	295×18	0.23	400×18	0.25	600+300	1.2
	蝴蝶	蝶-1050	14	28	0.23	360	0.19	500	0.25	1130	1.2
	庐山	FD105-1	14	28	0.23	620×7	0.19	925×7			
	桐柏山	KYD-105	14	28	0.23	620×7	0.19	830×7	0.23		

（续）

类型	牌号	型号规格	极数	槽数	主绕组		辅绕组		调速绕组		电抗器		电容 /μF
					线径 /mm	匝数	线径 /mm	匝数	线径 /mm	匝数	线径 /mm	匝数	
落地扇	旋风	FS2-40P FS3-40P FS4-40P	4	16	0.23	570×4	0.19	720×4			0.23	1260	
	双菱	FS3-40	4	16	0.19	650×4	0.17	520×4	0.17	330×4			
	长城	FS5	4	16	0.21	710×4	0.17	930×4			0.21	200+430+200	
	南极	FS6、FS8、 FS9、FS10	4	16	0.21	730×4	0.17	840×4	0.17	250+170			
	千叶	S40TE	4	16	0.21	700×4	0.19	950×4	0.19	900+1600			
	美达	PDSH400	4	16	0.21	680×4	0.17	980×4	0.17	400+600			
	桐柏山	KYL-40	4	16	0.23	570×4	0.19	720×4			0.23	700+650+500	
	冬梅	FRS6-2-4 FRS6-4	4	8	0.23	555×4	0.19	750×4			0.23	680+260	
	菊花	FL-40-5 FL-40-6 FL-40-11	4	16	0.21	710×4	0.17	550×4	0.17	150×4 +280×4			
	雪花	FL2-40P	4	8	0.23	530×4	0.18	840×4	0.23	1090			
	月仙	FL-40P	4	8	0.23	510×4	0.21	300×4	0.21	110+520			4

（续）

类型	牌号	型号规格	极数	槽数	主绕组		辅绕组		调速绕组		电抗器		电容 /μF
					线径 /mm	匝数	线径 /mm	匝数	线径 /mm	匝数	线径 /mm	匝数	
转叶扇	嘉美	KYT1、2-30 KYS1、3、5 -30	4	16	0.17	900×4	0.15	440×4	0.15	440×4			1
落地扇	乐山	FD8	4	16	0.23	590×4	0.18	440×4	0.18	400+400×3（L-2 型）			1.2
		FD7B	4	16	0.14	（800+500+300）×4	0.17	950×4		（L-1 型）			1.2
	庐山	FT40-13F	4	8	0.23	530×4	0.17	870×4	0.23	355+500+200+65（灯）			
	钻石	FS-40	4	16	0.19	680×4	0.17	920×4			0.19	430+270+220+700	
	扬子	FS-40	4	8	0.23	530×4	0.19	790×4			0.23	950	
	骆驼	FS40E FS40H	4	16	0.21	710×4	0.17	1000×4			0.23	45+200+250+530	1.2
	海鸥	FS407C	4	8	0.23	530×4	0.17	890×4			0.23	600+230	1.2
		FS1-6	4	16	0.19	700×4+70	0.17	400×4	0.17	110+310×4			
	金龙	FS2-6	4	16	0.21	720×4+70	0.17	550×4	0.17	150×4+250×4			

附表 26　单绕组双速交流电梯(380V)电动机铁心、绕组技术数据

型号	极数	接法	电机参数			铁心数据/mm				定子绕组				参考图例
			功率/kW	电流/A	转速/(r/min)	外径	内径	长度	槽数	型式	节距	线径/mm	线圈匝数	
JTD-333	24/6	Y/2Y	6.4	18	250/820	340	230	100	72	双	1—10	1—1.56	36	图 3-28
JTD-333			7.5	21	250/840			120				1—1.62	32	
JTD-333			11.2	30	250/860			175		叠		2—1.40	22	
JTD-430	24/6	Y/2Y	15	41	250/890	440	305	145	72	双	1—10	3—1.62	22	图 3-28
JTD-430			19	48.6	250/900			165		叠		3—1.74	20	

（续）

型号	极数	接法	额定参数					定子铁心			定转子槽数	定子绕组				参考图例
			功率/kW	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm		型式	节距	每槽线数	线径/mm	
YD132M1-8/6/4	8	△	1.5	380	5.2	71	0.62	210	148	160	36/33	双叠	1—6	78	0.67	图 3-21
	4	2Y	2.2		4.9	79	0.87									
	6	Y	2.0		5.4	77	0.73					单链		32	0.85	图 2-56
YD132M2-8/6/4	8	△	1.8	380	6.1	72	0.62	210	148	180	36/33	双叠	1—6	66	0.71	图 3-21
	4	2Y	3		6.5	80	0.87									
	6	Y	2.6		6.8	78	0.74					单链		27	0.90	图 2-56
YD160M-8/6/4	8	△	3.3	380	10.2	79	0.62	260	180	145	36/33	双叠	1—6	58	2-0.75	图 3-21
	4	2Y	5.5		11.6	83	0.87									
	6	Y	4		9.9	81	0.76					单链		25	2-0.75	图 2-56
YD160L-8/6/4	8	△	4.5	380	13.8	80	0.62	260	180	195	36/33	双叠	1—6	44	2-0.85	图 3-21
	4	2Y	7.5		15.6	84	0.87									
	6	Y	6		14.5	83	0.76					单链		18	3-0.80	图 2-56

注：本系列三速电动机均采用双绕组布线。

（续）

型号	极数	接法	额定参数 功率/kW	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数	定子铁心 外径/mm	内径/mm	长度/mm	定转子槽数	定子绕组 型式	节距	每槽线数	线径/mm	参考图例
YD132M-8/4/2	8	Y	1.3	380	4.6	71	0.61	210	136	160	36/32	双叠	1—5	48	0.85	图 2-59
	4	△	3.7		8.4	80	0.84						1—10	48	0.85	图 3-17
	2	2Y	4.5		10	75	0.91									
YD160M-8/4/2	8	Y	2.2	380	7.6	75	0.59	260	170	155	36/26	双叠	1—5	36	2-0.71	图 2-59
	4	△	5		11.2	81	0.84						1—10	40	2-0.75	图 3-17
	2	2Y	6		13.2	76	0.91									
YD160L-8/4/2	8	Y	2.8	380	9.2	77	0.60	260	170	195	36/26	双叠	1—5	30	1.18	图 2-59
	4	△	7		15.1	83	0.85						1—10	32	1.18	图 3-17
	2	2Y	9		18.8	79	0.82									
YD112M-8/6/4	8	△	0.85	380	3.7	62	0.56	175	120	135	36/33	双叠	1—6	100	0.53	图 3-21
	4	2Y	1.5		3.5	75	0.86									
	6	Y	1.0		3.1	68	0.73					单链		46	0.56	图 2-56
YD132S-8/6/4	8	△	1.1	380	4.1	68	0.60	210	148	120	36/33	双叠	1—6	98	0.60	图 3-21
	4	2Y	1.8		4.0	78	0.87									
	6	Y	1.5		4.2	74	0.73					单链		41	0.71	图 2-56

ISBN 7-111-14040-0/TM·1279

封面设计·电脑制作：姚毅



定价：30.00元

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
联系电话：(010) 68326294 网址：http://www.cmpbook.com
E-mail:online@cmpbook.com

参 考 文 献

1 潘品英等. 电动机绕组修理. 上海：上海科学技术出版社，1984
2 梁灿彬. 三相鼠笼电动机修理. 北京：水利电力出版社，1979
3 潘品英. 新编电动机绕组布线接线彩色图集. 北京：机械工业出版社，1994
4 赵家礼主编. 电动机修理手册. 三版. 北京：机械工业出版社，2003
5 潘品英. 中小型电机绕组修理. 北京：机械工业出版社，1997
6 陈碧秀. 实用中小型电机手册. 沈阳：辽宁科学技术出版社，1987
7 朱建德，潘品英. 实践电工手册. 北京：机械工业出版社，1998
8 汪国梁. 电机修理. 修订本. 西安：陕西科学技术出版社，1991
9 潘月琴. 洗衣机、电风扇、吸尘器维修手册. 北京：轻工业出版社，1989
10 潘品英. 家用及中小型电动机重绕修理. 二版. 上海：上海交通大学出版社，2001
11 潘品英. 单相及民用电机修理. 北京：中国水利水电出版社，2002

附表 27　电机绕组常用漆包圆铜线直径和截面积

导线直径 /mm	截面积 /mm²	绝缘外径/mm		导线直径 /mm	截面积 /mm²	绝缘外径/mm		导线直径 /mm	截面积 /mm²	绝缘外径/mm		导线直径 /mm	截面积 /mm²	绝缘外径/mm	
		Q 型	QQ、QZ			Q 型	QQ、QZ			Q 型	QQ、QZ			Q 型	QQ、QZ
0.15	0.01767	0.17	0.19	0.45	0.159	—	0.51	0.77	0.466	0.83	0.86	1.40	1.539	1.48	1.51
0.16	0.0201	0.18	0.20	0.47	0.1735	0.52	0.53	0.80	0.503	0.86	0.89	1.45	1.651	1.53	1.56
0.17	0.0227	0.19	0.21	0.49	0.1886	0.54	0.55	0.83	0.541	0.89	0.92	1.50	1.767	1.58	1.61
0.18	0.0255	0.20	0.22	0.50	0.1964	—	0.56	0.85	0.568	—	0.94	1.56	1.911	1.64	1.67
0.19	0.0284	0.21	0.23	0.51	0.204	0.56	0.58	0.86	0.581	0.92	0.95	1.60	2.01	—	1.72
0.20	0.0314	0.225	0.24	0.53	0.221	0.58	0.60	0.90	0.636	0.96	0.99	1.62	2.06	1.71	1.73
0.21	0.0346	0.235	0.25	0.55	0.238	0.60	0.62	0.93	0.679	0.99	1.02	1.68	2.22	1.77	1.79
0.23	0.0415	0.255	0.28	0.56	0.246	—	0.63	0.95	0.709	—	1.04	1.70	2.27	—	1.82
0.25	0.0491	0.275	0.30	0.57	0.255	0.62	0.64	0.96	0.724	1.02	1.05	1.74	2.38	1.83	1.85
0.27	0.0573	0.31	0.32	0.59	0.273	0.64	0.66	1.0	0.785	1.07	1.11	1.80	2.55	—	1.92
0.28	0.0616	—	0.33	0.60	0.283	—	0.67	1.04	0.849	1.12	1.15	1.81	2.57	1.90	1.93
0.29	0.0661	0.33	0.34	0.62	0.303	0.67	0.69	1.06	0.883	—	1.17	1.88	2.78	1.97	2.0
0.31	0.0755	0.35	0.36	0.63	0.312	—	0.70	1.08	0.916	1.16	1.19	1.95	2.99	2.04	2.07
0.33	0.0855	0.37	0.38	0.64	0.322	0.69	0.72	1.12	0.985	1.20	1.23	2.02	3.20	2.12	2.14
0.35	0.0962	0.39	0.41	0.67	0.353	0.72	0.75	1.16	1.057	1.24	1.27	2.10	3.46	2.20	2.23
0.38	0.1134	0.42	0.44	0.69	0.374	0.74	0.77	1.18	1.094	—	1.29	2.24	3.94	2.33	2.36
0.40	0.1257	—	0.46	0.71	0.396	—	0.79	1.20	1.131	1.28	1.31	2.26	4.01	2.36	2.39
0.41	0.132	0.45	0.47	0.72	0.407	0.78	0.80	1.25	1.227	1.33	1.36	2.36	4.37	2.45	2.48
0.42	0.1385	—	0.48	0.74	0.43	0.80	0.83	1.30	1.327	1.38	1.41	2.44	4.68	2.54	2.57
0.44	0.1521	0.49	0.50	0.75	0.442	—	0.84	1.35	1.431	1.43	1.46	2.50	4.91	2.59	2.63

注：QQ、QZ 栏中还包括 QZ-1、QZ-2、QZL、QY 等型号高强度漆包圆铜线。

（续）

型号	极数	接法	额定参数					定子铁心			定转子槽数	定子绕组				参考图例
			功率/kW	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm		型式	节距	每槽线数	线径/mm	
YD132M1-6/4/2	6	Y	2.2	380	6	77	0.72	210	136	140	36/32	单链	1—6	37	0.90	图 2-56
	4	△	3.3		7.5	80	0.84					双叠	1—10	56	0.85	图 3-17
	2	2Y	4		8.8	76	0.91									
YD132M2-6/4/2	6	Y	2.6	380	6.9	80	0.72	210	136	180	36/32	单链	1—6	30	2-0.75	图 2-56
	4	△	4		9	80	0.84					双叠	1—10	44	0.90	图 3-17
	2	2Y	5		10.8	77	0.91									
YD160M-6/4/2	6	Y	3.7	380	9.5	82	0.72	260	170	155	36/26	单链	1—6	27	2-0.90	图 2-56
	4	△	5		11.2	81	0.84					双叠	1—10	40	2-0.75	图 3-17
	2	2Y	6		13.2	76	0.91									
YD160L-6/4/2	6	Y	4.5	380	11.4	83	0.72	260	170	195	36/26	单链	1—6	22	3-0.80	图 2-56
	4	△	7		15.1	83	0.85					双叠	1—10	32	1.18	图 3-17
	2	2Y	9		18.8	79	0.92									
YD112M-8/4/2	8	Y	0.65	380	2.7	59	0.63	175	110	135	36/32	双叠	1—5	68	0.53	图 2-59
	4	△	2		5.1	73	0.81						1—10	62	0.60	图 3-17
	2	2Y	2.4		5.8	74	0.85									
YD132S-8/4/2	8	Y	1	380	3.6	69	0.61	210	136	115	36/32	双叠	1—5	62	0.75	图 2-59
	4	△	2		6.1	78	0.83						1—10	64	0.75	图 3-17
	2	2Y	3		7.1	74	0.87									

（续）

型号	极数	接法	额定参数 功率/kW	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数	定子铁心 外径/mm	内径/mm	长度/mm	定转子槽数	定子绕组 型式	节距	每槽线数	线径/mm	参考图例
YD100L1-6/4	6 4	△ 2Y	1.3 1.8	380	3.8 4.4	74 77	0.70 0.80	150	98	115	36/32	双叠	1—7	100	0.63	图 3-20
YD100L2-6/4	6 4	△ 2Y	1.5 2.2	380	4.3 5.4	75 77	0.70 0.80	150	98	135	36/32	双叠	1—7	86	0.69	
YD112M-6/4	6 4	△ 2Y	2.2 2.8	380	5.7 6.7	78 77	0.75 0.82	175	120	135	36/33	双叠	1—7 或 (1—8)	76 (76)	0.80 (0.80)	图 3-20
YD132S-6/4	6 4	△ 2Y	3 4	380	7.7 9.5	79 78	0.75 0.82	210	148	125	36/33	双叠	1—7 或 (1—8)	68 (66)	1.0 (0.95)	
YD132M-6/4	6 4	△ 2Y	4 5.5	380	9.8 12.3	82 80	0.76 0.85	210	148	180	36/33	双叠	1—7 或 (1—8)	52 (48)	2-0.75 (2-0.8)	
YD160M-6/4	6 4	△ 2Y	6.5 8	380	15.1 17.4	84 83	0.78 0.84	260	180	145	36/33	双叠	1—7 或 (1—8)	48 (46)	1.06 1.0 (1.0 1.06)	
YD160L-6/4	6 4	△ 2Y	9 11	380	20.6 23.4	85 84	0.78 0.85	260	180	195	36/33	双叠	1—7 或 (1—8)	36 (34)	2-1.18 (2-1.18)	
YD180M-6/4	6 4	△ 2Y	11 14	380	25.9 29.8	85 84	0.76 0.85	290	205	200	36/32	双叠	1—7 或 (1—8)	32 (30)	1.25 1.3 (3-0.95 1-0.90)	

（续）

型号	极数	接法	额定参数					定子铁心			定转子槽数	定子绕组				参考图例
			功率/kW	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm		型式	节距	每槽线数	线径/mm	
YD112M-4/2	4 2	△ 2Y	3.3 4.0	380	7.4 8.6	82 79	0.83 0.89	175	110	135	36/32	双叠	1—11	56	0.95	图 3-18
YD132S-4/2	4 2	△ 2Y	4.5 5.5	380	9.8 11.9	83 79	0.84 0.89	210	136	115	36/32	双叠	1—11	58	1.18	
YD132M-4/2	4 2	△ 2Y	6.5 8.0	380	13.8 17.1	84 80	0.85 0.89	210	136	160	36/32	双叠	1—11	44	2-0.95	
YD160M-4/2	4 2	△ 2Y	9 11	380	18.5 22.9	87 82	0.85 0.89	260	170	155	36/26	双叠	1—10	36	1.18 1.12	图 3-17
YD160L-4/2	4 2	△ 2Y	11 14	380	22.3 28.8	87 82	0.86 0.90	260	170	195	36/26	双叠	1—10	30	1.30 1.25	
YD180M-4/2	4 2	△ 2Y	15 18.5	380	29.4 36.7	89 85	0.87 0.90	290	187	190	48/44	双叠	1—13	20	3-1.25	图 3-19
YD180L-4/2	4 2	△ 2Y	18.5 22	380	35.9 42.7	89 86	0.88 0.91	290	187	220	48/44	双叠	1—13	18	4-1.12	
YD90S-6/4	6 4	△ 2Y	0.65 0.85	380	2.2 2.3	64 70	0.68 0.79	130	86	100	36/33	双叠	1—7 或 (1—8)	152 (146)	0.45 (0.45)	图 3-20
YD90L-6/4	6 4	△ 2Y	0.85 1.1	380	2.8 3	66 71	0.70 0.79	130	86	120	36/33	双叠	1—7 或 (1—8)	126 (116)	0.50 (0.53)	

附表 25　YD 系列三相变极多速电动机铁心、绕组技术数据

型号	极数	接法	额定参数					定子铁心			定转子槽数	定子绕组				参考图例
			功率 /kW	电压 /V	电流 /A	效率 (%)	功率因数	外径 /mm	内径 /mm	长度 /mm		型式	节距	每槽线数	线径 /mm	
YD801-4/2	4 2	△ 2Y	0.45 0.55	380	1.4 1.5	66 65	0.74 0.85	120	75	65	24/22	双叠	1—8 或 1—7	260	0.38	图 3-16 或 图 3-15
YD802-4/2	4 2	△ 2Y	0.55 0.75	380	1.7 2.0	68 66	0.74 0.85	120	75	80	24/22	双叠	1—8 或 1—7	210	0.42	
YD90S-4/2	4 2	△ 2Y	0.85 1.1	380	2.3 2.8	74 72	0.77 0.85	130	80	90	24/22	双叠	1—7	166	0.47	图 3-15
YD90L-4/2	4 2	△ 2Y	1.3 1.8	380	3.3 4.3	76 74	0.78 0.85	130	80	120	24/22	双叠	1—7	128	0.56	
YD100L1-4/2	4 2	△ 2Y	2.0 2.4	380	4.8 5.6	78 76	0.81 0.86	155	98	105	36/32	双叠	1—11	80	0.71	图 3-18
YD100L2-4/2	4 2	△ 2Y	2.4 3.0	380	5.6 6.7	79 77	0.83 0.89	155	98	135	36/32	双叠	1—11	68	0.77	

（续）

型号	极数	接法	额定参数					定子铁心			定转子槽数	定子绕组				参考图例
			功率/kW	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm		型式	节距	每槽线数	线径/mm	
YD180L-8/6	8	△	9	380	24.7	85	0.65	290	205	230	36/32	双叠	1—5	32	1.30	图 3-23
	6	2Y	12		28.3	86	0.75								1.25	
YD160M-12/6	12	△	2.6	380	11.6	74	0.46	260	180	145	36/33	双叠	1—4	74	0.80	图 3-26
	6	2Y	5		11.9	84	0.76								0.85	
YD160L-12/6	12	△	3.7	380	16.1	76	0.46	260	180	205	36/33	双叠	1—4	52	1.40	
	6	2Y	7		15.8	85	0.79									
YD180L-12/6	12	△	5.5	380	19.6	79	0.54	290	205	230	54/58	双叠	1—6	32	1.06	图 3-27
	6	2Y	10		20.5	86	0.86								1.12	
YD100L-6/4/2	6	Y	0.75	380	2.6	67	0.65	155	98	135	36/32	单链	1—6	54	0.53	图 2-56
	4	△	1.3		3.7	72	0.75					双叠	1—10	68		图 3-17
	2	2Y	1.8		4.5	71	0.85									
YD112M-6/4/2	6	Y	1.1	380	3.5	73	0.65	175	110	135	36/32	单链	1—6	45	0.67	图 2-56
	4	△	2		5.1	73	0.81					双叠	1—10	62	0.60	图 3-17
	2	2Y	2.4		5.8	74	0.85									
YD132S-6/4/2	6	Y	1.8	380	5.1	75	0.71	210	136	115	36/32	单链	1—6	45	0.83	图 2-56
	4	△	2.6		6.1	78	0.83					双叠	1—10	64	0.80	图 3-17
	2	2Y	3		7.4	71	0.87									

（续）

型号	极数	接法	额定参数					定子铁心			定转子槽数	定子绕组				参考图例
			功率/kW	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm		型式	节距	每槽线数	线径/mm	
YD90S-8/6	8	△	0.35	380	1.6	56	0.60	130	86	100	36/33	双叠	1—6	208	0.40	图 3-24
	6	2Y	0.45		1.4	70	0.72									
YD90L-8/6	8	△	0.45	380	1.9	59	0.60	130	86	120	36/33	双叠	1—6	170	0.45	
	6	2Y	0.65		1.9	71	0.73									
YD100L-8/6	8	△	0.75	380	2.9	65	0.60	155	106	135	36/33	双叠	1—6	116	0.53	
	6	2Y	1.1		3.1	75	0.73									
YD112M-8/6	8	△	1.3	380	4.5	72	0.61	175	120	135	36/33	双叠	1—6	98	0.67	
	6	2Y	1.8		4.8	78	0.73									
YD132S-8/6	8	△	1.8	380	5.8	76	0.62	210	148	110	36/33	双叠	1—5	94	0.53	图 3-23
	6	2Y	2.4		6.2	80	0.73								0.56	
YD132M-8/6	8	△	2.6	380	8.2	78	0.62	210	148	180	36/33	双叠	1—5	62	0.67	
	6	2Y	3.7		9.4	82	0.73								0.71	
YD160M-8/6	8	△	4.5	380	13.3	83	0.62	260	180	145	36/33	双叠	1—5	56	2-0.95	
	6	2Y	6		14.7	85	0.73									
YD160L-8/6	8	△	6	380	17.5	84	0.62	260	180	195	36/33	双叠	1—5	42	3-0.90	
	6	2Y	8		19.4	86	0.73									
YD180M-8/6	8	△	7.5	380	21.9	84	0.62	290	205	200	36/32	双叠	1—5	36	2-1.0	
	6	2Y	10		24.2	86	0.73								1-0.95	

(续)

型号	极数	接法	额定参数					定子铁心			定转子槽数	定子绕组				参考图例
			功率/kW	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm		型式	节距	每槽线数	线径/mm	
YD180L-6/4	6 4	△ 2Y	13 16	380	29.4 33.6	86 85	0.78 0.85	290	205	230	36/32	双叠	1—7 或 (1—8)	28 (26)	3-0.95 1-1.0 (2-1.18 1-1.12)	图 3-20
YD90L-8/4	8 4	△ 2Y	0.45 0.75	380	1.9 1.8	58 72	0.63 0.87	130	86	120	36/33	双叠	1—6	172	0.42	图 3-21
YD100L-8/4	8 4	△ 2Y	0.85 1.5	380	3.1 3.5	67 74	0.63 0.88	155	106	135	36/33	双叠	1—6	114	0.56	
YD112M-8/4	8 4	△ 2Y	1.5 2.4	380	5 5.3	72 78	0.63 0.88	175	120	135	36/33	双叠	1—6	94	0.71	
YD132S-8/4	8 4	△ 2Y	2.2 3.3	380	7.0 7.1	75 80	0.64 0.88	210	148	125	36/33	双叠	1—6	84	0.85	
YD132M-8/4	8 4	△ 2Y	3 4.5	380	9.0 9.4	78 82	0.65 0.89	210	148	180	36/33	双叠	1—6	60	0.67 0.71	
YD160M-8/4	8 4	△ 2Y	5 7.5	380	13.9 15.2	83 84	0.66 0.89	260	180	145	36/33	双叠	1—6	54	1.4	
YD160L-8/4	8 4	△ 2Y	7 11	380	19 21.8	85 86	0.66 0.89	260	180	195	36/33	双叠	1—6	40	2-1.12	
YD180L-8/4	8 4	△ 2Y	11 17	380	26.7 32.6	87 88	0.72 0.91	290	205	260	54/58	双叠	1—8	22	2-1.3	图 3-22

附表 18 DO 系列单相电容运转电动机铁心、绕组技术数据

型号	额定参数					定子铁心/mm			绕组型式	槽数 Z_1/Z_2	主绕组		辅绕组		电容器/μF	参考图例
	功率/W	电流/A	空载电流/A	效率(%)	功率因数	外径	内径	叠厚			每极匝数	线径/mm	每极匝数	线径/mm		
DO-4512	15	0.23	0.249	36	0.82	71	38	45	3/3-B	12/15	823	0.23	1258	0.19	1	图 2-91
DO-4522	25	0.32	0.373	42	0.84						698	0.25	1369	0.20		
DO-5012	40	0.45	0.38	48		80	43	35	3/3-B		700		920	0.19	2	图 2-91
DO-5022	60	0.55	0.47	53	0.86			46			550	0.29	778	0.23		
DO-5612	90	0.82	0.63	58		90	48	38	6/6-B	24/18	500	0.33	650	0.27	4	图 2-96
DO-5622	120	1.0	0.66	62	0.88			48			400	0.41	640			
DO-6312	180	1.42	1.29	65		102	54	44			341	0.44	510	0.33	6	
DO-4514	8	0.20	0.27	23	0.80	71	38	45	2/1-A/B	12/15	575	0.20	650	0.16	1	图 2-97
DO-4524	15	0.28	0.39	30							523	0.21	670	0.17		
DO-5014	25	0.35	0.38	35	0.82	80	42	34			504	0.25	523	0.18	2	
DO-5024	40	0.52	0.56	40				44			373	0.27	598	0.20		
DO-5614	60	0.72	0.84	45	0.84	90	52	38	3/3-A	24/18	350	0.29	460	0.27	4	图 2-99
DO-5624	90	0.97	1.23	49				48			260	0.31	420	0.29		
DO-6314	120	1.2	1.28	53	0.86	102	60	44			265	0.38	460			
DO-6324	180	1.67	1.73	57				55			213	0.44	355	0.33	6	

（续）

型号	功率/kW	转速/(r/min)	电流/A	电压/V	效率(%)	功率因数	定子铁心 外径/mm	定子铁心 内径/mm	定子铁心 长度/mm	定子槽数	定子绕组 型式	定子绕组 接法	定子绕组 节距	定子绕组 每槽线数	定子绕组 并绕根数	定子绕组 线径/mm	定子绕组 并联路数	参考图例
Y180L-8	11	730	43.4/25.1	220/380	86.5	0.77	290	205		54	双层叠式	△/Y	1—7	26	2	1.18	2	图 2-62
Y200L-8	15		58.9/34.1		88	0.76	327	230						22		1.4		
Y225S-8	18.5		71.5/41.3		89.5		368	260		72			1—9	34		1.25	4	—
Y225M-8	22		82.4/47.6		90	0.78								58	1	1.4	8	
Y250M-8	30		109/63		90.5	0.80	400	285						26		1.5 1.4	4	

注：220/380V、50Hz电动机系Y系列电动机的派生产品。它主要适用于部分出口产品及国内农业机械和某些选煤机械的配套，其性能及安装尺寸均与Y系列相应规格相同，是取代JO2老系列同类产品的更新换代产品。

附表6 电动工具专用三相异步电动机铁心、绕组技术数据

型号	专用工具	额定参数 功率/kW	额定参数 频率/Hz	额定参数 电压/V	额定参数 电流/A	定子外径/mm	定子内径/mm	定子槽数	转子槽数	定子绕组 型式	定子绕组 极数	定子绕组 并绕根数	定子绕组 线径/mm	定子绕组 每槽线数	定子绕组 节距	参考图例
J3Z-32	电钻	1.1	50	Y380	2.4	120	65	18	16	单层庶极同心式	2	1	0.72	95	1—12、2—11、3—10	
J3Z-38		1.32														
J3Z-49		1.54			3.35								0.77	84		
J3G-400	型材切割机	2.2			4.7	145	80.5	24	30	单层同心式			0.95	46	1—12、2—11	图 2-45
S3S-100	手提砂轮机	0.18			0.5	88	46	18	12	单交叉链式			0.35	235	2—(1—9)、1—(1—8)	图 2-44
S3S-125、150		0.25			0.68								0.38	190		
S3S2-150		0.5			1.28	98	53.4						0.47	138		

（续）

型号	功率/kW	转速/(r/min)	电流/A	电压/V	效率(%)	功率因数	定子铁心 外径/mm	定子铁心 内径/mm	定子铁心 长度/mm	定子槽数	定子绕组 型式	定子绕组 接法	定子绕组 节距	定子绕组 每槽线数	定子绕组 并绕根数	定子绕组 线径/mm	定子绕组 并联路数	参考图例
Y90S-6	0.75	910	3.9/2.3	220/380	73	0.70	130	86		36	单层链式	△/Y	1—6	77	1	0.67	1	图 2-56
Y90L-6	1.1		5.4/3.1		74	0.72								63		0.75		
Y100L-6	1.5	940	6.8/3.9		78	0.74	155	106						53		0.85		
Y112M-6	2.2		9.6/5.6		81		175	120						44		1.06		
Y132S-6	3	960	12.4/7.2		83.5	0.76	210	148						38	2	0.90		
Y132M1-6	4		16.1/9.3		84.5	0.77								30		1.06		
Y132M2-6	5.5		21.6/12.5		85.8	0.78								24		1.18		
Y160M-6	7.5	970	29.2/16.9		86.5		260	180						23	2 1	1.18 1.25		
Y160L-6	11		42.3/24.5		87.5									16	1 2	1.4 1.5		
Y180L-6	15		54/31.3		90	0.81	290	205		54	双层叠式		1—9	20	2	1.4	2	图 2-57
Y200L1-6	18.5		64.8/37.5		90.3	0.83	327	230						18	2 1	1.25 1.18		
Y200L2-6	22		76.7/44.4		90.7									16	2 1	1.3 1.4		
Y225M-6	30	980	102/59			0.85	368	260		72			1—11	18	3	1.4	3	—
Y250M-6	37		124/71.6		91.3	0.86	400	285						16		1.5		
Y132S-8	2.2	710	10/5.8		81	0.71	210	148		48	单层链式		1—6	38	1	1.12	1	图 2-60
Y132M-8	3		13.4/7.7		82	0.72								30		1.3		
Y160M1-8	4	720	17.1/9.9		84	0.73	260	180						28		1.12 1.18		
Y160M2-8	5.5		23/13.3		85	0.74								22		1.3 1.4		
Y160L-8	7.5		30.6/17.7		86	0.75								17	3	1.25		

（续）

型号	功率/kW	转速/(r/min)	电流/A	电压/V	效率(%)	功率因数	定子铁心			定子槽数	定子绕组							参考图例
							外径/mm	内径/mm	长度/mm		型式	接法	节距	每槽线数	并绕根数	线径/mm	并联路数	
Y801-4	0.55	1390	2.6/1.5	220/380	73.5	0.76	120	75		24	单层链式	△/Y	1—6	128	1	0.56	1	图 2-51
Y802-4	0.75		3.5/2		75									103		0.63		
Y90S-4	1.1	1400	4.7/2.7		78.5	0.78	130	80						81		0.71		
Y90L-4	1.5		6.3/3.6		79.5	0.79								63		0.80		
Y100L1-4	2.2	1430	8.6/5		81.5	0.82	155	98		36	单层交叉式		2/1—9 1/1—8	41	2	0.71		图 2-52
Y100L2-4	3		11.7/6.8		83	0.81								31	1	1.18		
Y112M-4	4	1440	15.1/8.7		85	0.82	175	110						27	2	1.0		
Y132S-4	5.5		20/11.6		86	0.84	210	136						28		1.18		
Y132M-4	7.5		26.5/15.3		87.5	0.85								20	1 2	1.12 1.18		
Y160M-4	11	1460	38.8/22.5		88.5	0.84	260	170						16	3	1.4		
Y160L-4	15		52/30		89	0.85								26		1.12		图 2-53
Y180M-4	18.5	1470	61.7/35.7		91.5	0.86	290	187		48	双层叠式		1—11	18	2 1	1.25 1.3	2	图 2-54
Y180L-4	22		73/42.2		92									16	3	1.4		
Y200L-4	30		97.6/56.5		92.7	0.87	327	210						14	3 1	1.4 1.5		
Y225S-4	37	1480	121/70		92.3		368	245					1—12	26	1 2	1.4 1.3	4	图 2-55
Y225M-4	45		145/84		92.8	0.88								22	3 1	1.25 1.3		
Y250M-4	55		176/102		93.1		445	300			双叠			20	4	1.5		

附表 8　YQSY 系列充油式井用电泵三相异步电动机铁心、绕组技术数据(380V)(二)

型号	额定参数				定子铁心				定转子槽数	定子绕组						参考图例
	功率/kW	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm	气隙/mm		型式	节距	接法	极数	线规/mm	每槽线数	
200-4	4	10	76	0.80			100							ϕ1.0	66	
200-5.5	5.5	13.6	77	0.80			135					△		ϕ1.18	50	
200-7.5	7.5	18.2	77.5	0.81			160							ϕ1.3	42	
200-9	9	22.1	78	0.81			185	0.75						ϕ1.4	36	
200-11	11	26.3	78.5	0.81			215					Y		2-ϕ1.4	18	
200-13	13	30.5	79	0.82			240							2-ϕ1.12	28	
200-15	15	34.7	80	0.82	167	87	290		24/20	单层同心式	1—12 2—11		2	2-ϕ1.25	23	图 2-45
200-18.5	18.5	42.6	80.5	0.82			345							2-ϕ1.35	21	
200-22	22	49.7	81	0.83			400					△		3-ϕ1.18	18	
200-25	25	56.2	81.5	0.83			450	0.8						3-ϕ1.3	16	
200-30	30	66.6	82.5	0.83			520							3-ϕ1.4	14	
200-37	37	80.6	83	0.84			605							4-ϕ1.3	12	
200-45	45	97.5	83.5	0.84			725							5-ϕ1.3	10	
250-15	15	35.2	80	0.81			160							2-ϕ1.4	33	
250-18.5	18.5	43.1	80.5	0.81			185							3-ϕ1.25	29	
250-22	22	50.3	81	0.82	210	120	215	0.8	24/22	单层同心式	1—12 2—11	△	2	3-ϕ1.3	25	图 2-45
250-25	25	56.5	82	0.82			245							3-ϕ1.4	22	
250-30	30	66.2	83	0.83			285							4-ϕ1.3	19	

附表 7　YQSY 系列充油式井用电泵三相异步电动机铁心、绕组技术数据(380V)(一)

型号	额定参数				定子铁心				定转子	定子绕组						参考图例
	功率/kW	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm	气隙/mm	槽数	型式	节距	接法	极数	线规/mm	每槽线数	
250-17	17	40.4	80	0.80	205	112	140	0.8	24/20	单层同心式	1—12 2—11	Y	2	3-ϕ1.16	20	图 2-45
250-22	22	50.9	81	0.81			170							3-ϕ1.3	16	
250-28	28	64	82	0.81			220							4-ϕ1.3	12	
250-34	34	75.9	83	0.82			260					2 Y		2-ϕ1.4	21	图 2-20
250-40	40	87.7	83.5	0.83			330							3-ϕ1.3	16	
2-10-13	13	31.3	79	0.80	204	114	120	0.7	24/22	单层同心式	1—12 2—11	Y	2	3-ϕ1.08	23	图 2-45
2-10-17	17	40.4	80	0.80			130							3-ϕ1.16	21	
2-10-22	22	50.9	81	0.81			165					2 Y		2-ϕ1.12	34	图 2-20
2-10-28	28	64	82	0.81			195	0.8						2-ϕ1.25	28	
2-10-30	30	68.6	82	0.81			210							2-ϕ1.3	26	
2-10-34	34	75.9	83	0.82			230							2-ϕ1.35	24	
3-10-17	17	40.4	80	0.80	205	112	125	0.8	24/20	单层同心式	1—12 2—11	Y	2	3-ϕ1.16	21	图 2-45
3-10-22	22	50.9	81	0.80			145							3-ϕ1.3	17	
3-10-28	28	64	82	0.81			185					2 Y		ϕ1.25 ϕ1.30	27	图 2-20
3-10-34	34	75.9	83	0.82			215							2-ϕ1.4	23	
a-250-17	17	39.8	79	0.82	205	112	140	0.8	24/20	单层同心式	1—12 2—11	Y	2	3-ϕ1.25	19	图 2-45
a-250-22	22	50.4	80	0.83			170							3-ϕ1.4	15	
a-250-28	28	63.4	81	0.83			220							4-ϕ1.35	12	

注：本系列电动机型号全称应表示如："YQSY250-17"；"YQSY2-10-13"；"YQSY3-10-17"；"YQSYa-250-17" 等。

（续）

型号	专用工具	额定参数				定子外径/mm	定子内径/mm	定子槽数	转子槽数	定子绕组						参考图例
		功率/kW	频率/Hz	电压/V	电流/A					型式	极数	并绕根数	线径/mm	每槽线数	节距	
S3SR-100		0.5			1.3	102	52	18	12	单交叉链式			0.57	130	2—(1—9)、1—(1—8)	图 2-44
S3SR-150	软轴砂轮机	1	50	Y380	2.23	130	70	24	18	单层同心式		1	0.67	74	1—12、2—11	图 2-45
S3SR-200		1.5			3.24	145	75						0.83	58		
S2MJ-100	中频角向磨光机	0.31	300	Y42	7.2	48	26.5			单层庶极同心式		2	0.55	8	1—12,2—11,3—10	—
S3M-38、57、76	电动磨管机	0.27			0.86	88	44.5							176		
P3Z-13、19、25									16	单层同心交叉式			0.38		1—10,2—9,11—18	图 2-43a
P3Z-38	电动胀管机	0.6			1.9	102	54	18						216		
P3Z-51、76		1			2.6						2		0.44	156		
B11	平板振动器		50	Y380	2.34	120	67.6			单层庶极同心式			0.67	96	1—12,2—11,3—10	—
ZX35、50		1.1			2.52	130	72					1				
ZXC-50	软轴振动器				2.5	120	67.6	24	22	单层同心式			0.77	82	1—12,2—11	图 2-45
ZX-70		1.5			3.45	130	72			单层等距交叉链式					1—8	图 2-27
Z2D-100	中频振动器		200	Y42	3	90		18	16				0.69	9		
M3L2-950	电链锯	1	50	Y380	2.52	102.5	47			双层叠式			0.64	102	1—9	—
M2L2-950		1.5	200	Y220	7.5	97	44.5	12	17					200	1—6	—

附表 5　Y 系列(IP44)220/380V、50Hz 三相异步电动机铁心、绕组技术数据

型　号	功率/kW	转速/(r/min)	电流/A	电压/V	效率(%)	功率因数	定子铁心			定子槽数	定子绕组							参考图例
							外径/mm	内径/mm	长度/mm		型式	接法	节距	每槽线数	并绕根数	线径/mm	并联路数	
Y801-2	0.75	2830	3.1/1.8	220/380	76	0.84	120	67		18	单层交叉	△/Y	2/1—8 1/1—7	111	1	0.63	1	图 2-44
Y802-2	1.1		4.4/2.5		78	0.86								90		0.71		
Y90S-2	1.5	2840	6/3.4		79	0.85	130	72						80		0.85		
Y90L-2	2.2		8.1/4.6		83	0.86								61		0.95		
Y100L-2	3	2870	11/6.3			0.87	155	84		24	单层同心式		1—12 2—11	40		1.18		图 2-45
Y112M-2	4	2890	14/8.1		86.5		175	98		30			1—16 2—15 3—14 1—14 2—13	28		1.06 0.90		图 2-46
Y132S1-2	5.5	2900	19/11			0.88	210	116						25		1.18 1.25		
Y132S2-2	7.5		25.7/14.9		87.2									21	1 2	1.06 1.12		
Y160M1-2	11	2930	37.2/21.5		88.2		260	150						16	1 3	1.3 1.4		
Y160M2-2	15		50.2/28.7		89.2									13	2 3	1.3 1.4		
Y160L-2	18.5		60.6/35.1		90	0.89								11	2 4	1.3 1.4		
Y180M-2	22	2940	72/41.7				290	160		36	双层叠式		1—14	18	2 1	1.4 1.5	2	图 2-48
Y200L1-2	30	2950	97.2/56.3		91		327	182						16	4	1.5		
Y200L2-2	37		119.2/69		91.5									14	5	1.5		
Y225M-2	45	2970	143/83.1		92.5		368 400	210 225						12	6 1	1.4 1.5		
Y250M-2	55		175/102												9	1.5		

（续）

型号	功率/kW	额定电流/A	定子铁心 外径/mm	定子铁心 内径/mm	定子铁心 长度/mm	转子电压/V	转子电流/A	定/转子槽数	定子绕组 每槽线数	定子绕组 并绕根数	定子绕组 线径/mm	定子绕组 节距	定子绕组 并联路数	定子绕组 绕组型式	定子绕组 接法	转子绕组 每槽线数	转子绕组 并绕根数	转子绕组 线规/mm	转子绕组 节距	转子绕组 并联路数	转子绕组 绕组型式	转子绕组 接法
YR250M1-4	37	71.4	400	260	220	289	79	48/36	40	2	1.25	1—12	4	双层叠绕	△	12	8	1.40	1—9	2	双层叠绕	Y
																6	2	2×5.6		1		
YR250M2-4	45	85.9			260	340	81		34	3	1.12					12	8	1.40	1—12	2		
																6	2	2×5.6		1		
YR280S-4	55	103.8	445	300	240	485	70	60/48	26	2	1.50	1—14				12	7	1.40		2		
																6	2	2×5		1		
YR280S-6	45	87.9		325	250	362	76	72/48	14	3 1	1.4 1.5	1—12	2			12	3 6	1.3 1.4	1—8	2		
													1			6	2	2.5×5.6		1		
YR280M-6	55	106.9			290	423	80		12	3 1	1.5 1.6		2			12	9	1.4		2		
													1			6	2	2.5×5.6		1		
YR160M-8	4	10.7	260	180	140	216	12	48/36	92	1	0.90	1—6	2	双层叠绕	△	42	2	0.95	1—5	2	双层叠绕	Y
YR160L-8	5.5	14.2			185	230	15.5		70		1.0					34		1.06				
YR180L-8	7.5	18.4	290	205	180	255	19	54/36	28		1.06 1.12	1—7	1				1	1.30 1.25				
YR200L1-8	11	26.6	327	230	190	152	46		44	2	0.95		2			16	2 4	1.18 1.25				
																8	1	2.2×5.6		1		
YR225M1-8	15	34.5	368	260		169	56		40		1.12					16	8	1.25		2		
																8	1	2.8×6.3		1		
YR225M2-8	18.5	42.1			235	211	54		32		1.3					16	8	1.25		2		
																8	1	2.8×6.3		1		

（续）

型号	额定功率/kW	满载时 转速/(r/min)	满载时 电压/V	满载时 电流/A	满载时 效率(%)	满载时 功率因数	空载电流/A	定子铁心 外径/mm	定子铁心 内径/mm	定子铁心 长度/mm	定/转子槽数	气隙/mm	定子绕组 型式	定子绕组 节距	定子绕组 每槽线数	定子绕组 并绕根数	定子绕组 线径/mm	定子绕组 并联路数	参考图例
Y315S-10	45	590	△380	99	90	0.76		520	390	300	90/72	0.8	双叠	1—9	66	1	1.12 1.18	10	—
Y315M1-10	55			120	91.5					400					52	2	1.3	5	
Y315M2-10	75			161	92	0.77				455					22		1.4 1.5		

附表3 YR系列(IP44)绕线转子三相异步电动机铁心、绕组技术数据(380V)

型号	功率/kW	额定电流/A	定子铁心 外径/mm	定子铁心 内径/mm	定子铁心 长度/mm	转子电压/V	转子电流/A	定/转子槽数	定子绕组 每槽线数	定子绕组 并绕根数	定子绕组 线径/mm	定子绕组 节距	定子绕组 并联路数	定子绕组 绕组型式	定子绕组 接法	转子绕组 每槽线数	转子绕组 并绕根数	转子绕组 线规/mm	转子绕组 节距	转子绕组 并联路数	转子绕组 绕组型式	转子绕组 接法
YR132M1-4	4	9.3	210	136	115	230	11.5	36/24	102	1	0.80	1—9	2	双层叠绕	△	28	3	1.06	1—6	1	双层叠绕	Y
YR132M2-4	5.5	12.6			155	272	13		74		0.95					24	2 1	1.12 1.18				
YR160M-4	7.5	15.7	260	170	130	250	19.5				1.12					44	2 1	1.0 1.06		2		
YR160L-4	11	22.5			185	276	25		52	2	0.95					34	3	1.18				
YR180L-4	15	30	290	187	205	278	34		32		1.06					18		1.30	1—9			
YR200L1-4	18.5	36.7	327	210	175	247	47.5	48/36	64	1	1.18	1—11	4			16	4	1.40				
																8	1	2×5.6		1		
YR200L2-4	22	43.2			205	293	47		54		1.30					16	4	1.40		2		
																8	1	2.24×5.6		1		
YR225M2-4	30	57.6	368	245	215	360	51.5		22	3	1.25		2			16	6	1.25		2		
																8	1	2.5×5.6		1		

（续）

型号	额定功率/kW	满载时 转速/(r/min)	电压/V	电流/A	效率(%)	功率因数	空载电流/A	定子铁心 外径/mm	内径/mm	长度/mm	定/转子槽数	气隙/mm	定子绕组 型式	节距	每槽线数	并绕根数	线径/mm	并联路数	参考图例
Y180L-6	15	970	△380	31.5	89.5	0.81	13.3	290	205	200	54/44	0.45	双层叠式	1—9	34	1	1.5	2	图 2-57
Y200L1-6	18.5			37.7	89.8	0.83	14.8	327	230	190		0.5			33		1.12 1.18		
Y200L2-6	22			44.6	90.2	0.84	16.6			220						2	1.25		
Y225M-6	30	980		59.5	90.2	0.85	17.8	368	260	200					28	2 1	1.3 1.4		
Y250M-6	37			72	90.8	0.86	19.4	400	285	225	72/58	0.55		1—12		1 2	1.12 1.18	3	—
Y280S-6	45			85.4	92	0.87	22.8	445	325	215		0.65			26	2 1	1.3 1.4		
Y280M-6	55			104.9	91.6		26.2			260					22	1 2	1.4 1.5		
Y132S-8	2.2	710	Y380	5.8	81	0.71	3.4	210	148	110	48/44	0.35	单层链式	1—6	39	1	1.12	1	图 2-60
Y132M-8	3			7.7	82	0.72	4.2			140					31		1.3		
Y160M1-8	4	720	△380	8.9	84	0.73	5.3	260	180	110		0.4			51		1.25		
Y160M2-8	5.5			13.3	85	0.74	6.9			145					39	2	1.0		
Y160L-8	7.5			17.7	86	0.75	8.5			195					30	1	1.12 1.18		
Y180L-8	11	730		25.1	86.5	0.77	12.2	290	205	200	54/58	0.45	双层叠式	1—7	46	2	0.90	2	图 2-62
Y200L-8	15			34.1	88	0.76	16	327	230	190		0.5			40	1	1.5		
Y225S-8	18.5			41.3	89.5		18.2	368	260	165						2	1.4		
Y225M-8	22			47.6	90	0.78	20.2			200					34		1.5		
Y250M-8	30			63	90.5	0.80	25.7	400	285	225	72/58	0.55		1—9	22	3	1.3		—
Y280S-8	37	740		78.2	91	0.79	32.1	445	325	215		0.6		1—12	40	2			
Y280M-8	45			93.2	91.7	0.80	35.8			260					34	1	1.4 1.5	4	

（续）

型号	功率 /kW	额定电流 /A	电压 /V	定子铁心 外径 /mm	定子铁心 内径 /mm	定子铁心 长度 /mm	转子电压 /V	转子电流 /A	定/转子槽数	定子绕组 每槽线数	定子绕组 并绕根数	定子绕组 线径 /mm	定子绕组 节距	定子绕组 并联路数	定子绕组 绕组型式	定子绕组 接法	转子绕组 每槽线数	转子绕组 并绕根数	转子绕组 线规 /mm	转子绕组 节距	转子绕组 并联路数	转子绕组 绕组型式	转子绕组 接法
YR200M-6	18.5	40.1	380	368	260	135	187	65	54/36	36	2	1.18	1—9	2	双层叠绕	△	8	1	1.8×5	1—6	1	双层叠绕	Y
YR200L-6	22	46.6				165	224	63		30	1	1.3 1.4											
YR225M1-6	30	61.3		400	285	145	227	86	72/54	38	2	1.12	1—12	3			6	2	1.6×4.5	1—9			
YR225M2-6	37	74.3				175	287	82		30	1	1.18 1.25											
YR250S-6	45	90.4		445	325	165	307	93		28	2	1.4							1.8×4.5				
YR250M-6	55	108.6				195	359	97		24	4	1.06											
YR280S-6	75	143.1		493	360	185	392	121		22	3	1.4							2×5				
YR280M-6	90	168.7				240	481	118		18		1.5											
YR160M-8	4	10.6	380	290	205	95	262	11	48/36	54	1	1.25	1—6	1	双层叠绕	△	30	1	1.06 1.12	1—5	1	双层叠绕	Y
YR160L-8	5.5	14.4				115	243	15		43		1.4					22	2	1.25				
YR180M-8	7.5	19		327	230	125	105	49		70	2	0.90		2			8	1	1.8×4				
YR180L-8	11	27.6				155	140	53		54		1.0											
YR200M-8	15	36.7		368	260	135	153	64		50		0.95							1.8×5				
YR200L-8	18.5	41.9				165	187			43		1.3											
YR225M1-8	22	49.2		400	285	145	161	90	72/48	62	1	1.25	1—9	4			6	2	1.6×4.5	1—6			
YR225M2-8	30	66.3				175	200	97		50		1.4											
YR250S-8	37	81.3		445	325	165	218	110		46	2	1.06							1.8×4.5				

附表 4 YR 系列(IP23)绕线转子三相异步电动机铁心、绕组技术数据

型号	功率 /kW	额定电流 /A	电压 /V	定子铁心 外径 /mm	定子铁心 内径 /mm	定子铁心 长度 /mm	转子电压 /V	转子电流 /A	定/转子槽数	定子绕组 每槽线数	定子绕组 并绕根数	定子绕组 线径 /mm	定子绕组 节距	定子绕组 并联路数	定子绕组 绕组型式	定子绕组 接法	转子绕组 每槽线数	转子绕组 并绕根数	转子绕组 线规 /mm	转子绕组 节距	转子绕组 并联路数	转子绕组 绕组型式	转子绕组 接法
YR160M-4	7.5	16				85	260	19		34	1	1.5		1			18	3					
YR160L1-4	11	22.7		290	187	115	275	26		50		0.85					14	4	1.12				
YR160L2-4	15	30.8				150	260	37		38	2	1.0		2			10	3 1	1.3 1.4				
YR180M-4	18.5	36.7				135	197			40		1.12	1—11										
YR180L-4	22	43.2		327	210	155	232	61	48/36	34	1	1.18 1.25							1.8×5	1—9			
YR200M-4	30	58.2				140	255	76		62	2	0.95					8	1					
YR200L-4	37	71.8	380	368	245	175	316	74		50		1.0		4	双层叠绕	△			2×5.6		1	双层叠绕	Y
YR225M1-4	45	87.3				155	240	120		24	1 3	1.12 1.18	1—12	2									
YR225M2-4	55	105.5		400	260		288	121		40	1	1.25 1.3		4					1.8×4.5				
YR250S-4	75	141.5				185	449	105		14	2 3	1.25 1.3					6						
YR250M-4	90	168.8		445	300	215	524	107		12	4 2	1.25 1.3		2				2	1.6×4.5				
YR280S-4	110	205.2				200	349	196	60/48	24		1.25	1—14							1—12			
YR280M-4	132	243.6		493	330	240	419	194		20	4	1.4		4			4		2.24×6.3				
YR160M-6	5.5	13.2		290	205	95	279	13		36	2	0.95		1			24	1	1.18 1.25				
YR160L-6	7.5	17.5	380			115	260	19	54/36	58		1.06	1—9		双层叠绕	△	18	3	1.12	1—6		双层叠绕	Y
YR180M-6	11	25.4		327	230	125	146	50		46	1	1.4		2			8	1	1.8×4				
YR180L-6	15	33.7				155	187	53		36	2	1.06											

（续）

型号	功率 /kW	额定电流 /A	定子铁心 外径 /mm	定子铁心 内径 /mm	定子铁心 长度 /mm	转子电压 /V	转子电流 /A	定/转子槽数	定子绕组 每槽线数	定子绕组 并绕根数	定子绕组 线径 /mm	定子绕组 节距	定子绕组 并联路数	定子绕组 绕组型式	定子绕组 接法	转子绕组 每槽线数	转子绕组 并绕根数	转子绕组 线规 /mm	转子绕组 节距	转子绕组 并联路数	转子绕组 绕组型式	转子绕组 接法
YR250M1-8	22	48.7	400	285	230	210	65.5	72/48	48	1	1.4	1—9	4	双层叠绕	△	12	7	1.4	1—6	2	双层叠绕	Y
																6	2	2.24×5		1		
YR250M2-8	30	66.1	400	285	280	270	69	72/48	74	1	1.12	1—9	8	双层叠绕	△	12	7	1.4	1—6	2	双层叠绕	Y
																6	2	2.24×5		1		
YR280M-4	75	140	445	300	340	354	128	60/48	18	1 2	1.4 1.5	1—14	4	双叠	△	12 6	7 2	1.4 2×5	1—12	4 2	双叠	Y
YR132M1-6	3	8.2	210	148	125	206	9.5	48/36	46	1	1.0	1—8	1	双层叠绕	△	20	3	1.0	1—6	1	双层叠绕	Y
YR132M2-6	4	10.7	210	148	165	230	11	48/36	70	1	0.80	1—8	2	双层叠绕	△	34	2	0.95	1—6	2	双层叠绕	Y
YR160M-6	5.5	13.4	260	180	140	244	14.5	48/36	66	1	1.0	1—8	2	双层叠绕	△	34	2	1.06	1—6	2	双层叠绕	Y
YR160L-6	7.5	17.9	260	180	185	266	18	48/36	50	1	1.18	1—8	2	双层叠绕	△	28	2	1.18	1—6	2	双层叠绕	Y
YR180L-6	11	23.6	290	205	205	310	22.5	54/36	38	1	1.25	1—9	2	双层叠绕	△	28	4	1.0	1—6	2	双层叠绕	Y
YR200L1-6	15	31.8	327	230	190	198	48	54/36	34	1	1.06 1.12	1—9	2	双层叠绕	△	16	2 4	1.18 1.25	1—6	2	双层叠绕	Y
																8	1	2.24×5.6		1		
YR225M1-6	18.5	38.3	368	260	160	187	62.5	54/36	36	1	1.18 1.25	1—9	2	双层叠绕	△	16	8	1.25	1—6	2	双层叠绕	Y
																8	1	2.8×6.3		1		
YR225M2-6	22	45	368	260	190	224	61	54/36	30	1	1.3 1.4	1—9	2	双层叠绕	△	16	8	1.25	1—6	2	双层叠绕	Y
																8	1	2.8×6.3		1		
YR250M1-6	30	60.3	400	285	230	282	66	72/48	18	3 1	1.12 1.18	1—12	2	双层叠绕	△	12	7	1.4	1—8	2	双层叠绕	Y
																6	2	2.24×5		1		
YR250M2-6	37	73.9	400	285	260	331	69	72/48	16	3	1.4	1—12	2	双层叠绕	△	12	3 5	1.4 1.3	1—8	2	双层叠绕	Y
																6	2	2.24×5		1		

附表 14　CO2 系列单相电容起动电动机铁心、绕组技术数据

型号	额定参数					定子铁心/mm			绕组型式	槽数 Z_1/Z_2	主绕组		辅绕组		电容器 /μF	参考图例
	功率 /W	电流 /A	转速 /(r/min)	效率 (%)	功率因数	外径	内径	叠厚			每极匝数	线规 /mm	每极匝数	线规 /mm		
CO2-7112	180	1.89	2800	60	0.72	110	58	50	6/4-B	24/18	297	0.56	247	0.38	75	图 2-95
CO2-7122	250	2.4		64	0.74			62			235	0.63	204	0.47		
CO2-8012	370	3.36		65	0.77	128	67	58			206	0.71	206	0.53	100	
CO2-8022	550	4.65		68	0.79			75			159	0.85	154	0.56	150	
CO2-90S2	750	5.94		70	0.82	145	77	70			147	1.0	133	0.63	200	
CO2-7114	120	1.88	1400	50	0.58	110	67	50	3/2-A	24/30	224	0.53	145	0.35	75	图 2-98
CO2-7124	180	2.49		53	0.62			62			183	0.60	124	0.38		
CO2-8014	250	3.11		58	0.63	128	77	58			158	0.71	133	0.47	100	
CO2-8024	370	4.24		62	0.64			75			124	0.85	134	0.50		
CO2-90S4	550	5.57		65	0.69	145	87	70	4/3-B/A	36/42	127	0.95	108	0.60	150	图 2-101
CO2-90L4	750	6.77		69	0.73			90			96	1.06	120	0.63		

注：起动电容采用 CDJ 型电解电容器，工作电压为 220V。

附表 13　BO2 系列单相电阻起动电动机铁心、绕组技术数据

型号	额定参数					定子铁心/mm			绕组型式	槽数 Z_1/Z_2	主绕组		辅绕组		参考图例
	功率/W	电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数	外径	内径	叠厚			每极匝数	线规/mm	每极匝数	线规/mm	
BO2-6312	90	1.09	2800	56	0.67	96	50	45	6/6-B	24/18	436	0.45	192	0.33	图 2-96
BO2-6322	120	1.36		58	0.69			54			357	0.50	182	0.35	
BO2-7112	180	1.89		60	0.72	110	58	50			297	0.56	167	0.38	
BO2-7122	250	2.4		64	0.74			62			235	0.63	156	0.40	
BO2-8012	370	3.36		65	0.77	128	67	58			206	0.71	136	0.45	
BO2-6314	60	1.23	1400	39	0.57	96	58	45	3/3-A	24/30	315	0.42	127	0.31	图 2-99
BO2-6324	90	1.64		43	0.58			54			270	0.45	117	0.35	
BO2-7114	120	1.88		50	0.58	110	67	50			224	0.53	124	0.33	
BO2-7124	180	2.49		53	0.62			62			183	0.60	102	0.35	
BO2-8014	250	3.11		58	0.63	128	77	58			158	0.71	104	0.40	
BO2-8024	370	4.24		62	0.64			75			124	0.85	89	0.47	

附表 12　JLJ 系列三相力矩电动机铁心、绕组技术数据

型号	额定(堵转)参数			定子铁心				定子绕组参数							转子型式	允许堵转时间 /min
	转矩 /(N·m)	电压 /V	电流 /A	外径 /mm	内径 /mm	长度 /mm	气隙 /mm	槽数	绕组型式	接法	并联路数	每槽线数	线规 /mm	节距		
JLJ112-0.6/4	6	380	3.1	180	112	60	0.5	24	双层叠式	Y	1	120	1-0.9	1—6	实心钢转子	5
JLJ112-1/4	10		5			90						84	2-0.8			
JLJ132-2.5/4	25		11	210	136		0.6	36				40	2-1.0	1—9		
JLJ132-4/4	40		16.5			130					2	58	2-0.93			
JLJ160-8/4	80		34	245	162	150						50	2-1.18		笼型	
JLJ160-10/4	100		44			190						40	3-1.12			
JLJ180-12.5/4	125		60	280	180	140	0.7					48		1—8		2
JLJ180-20/4	200		88			200				△		60	2-1.18			
JLJ132-1.6/6	16		6	210	136	60	0.6			Y	1	76	1-0.85	1—6	实心钢转子	5
JLJ132-2.5/6	25		8.5			90						52	1-1.12			
JLJ160-6/6	60		19	245	174	120	0.5				2	76	1-1.25		笼型	
JLJ160-10/6	100		32			190						50	1-1.12			
JLJ180-12.5/6	125		36	280	200	140	0.6				1	30	1-1.25			2
JLJ180-20/6	200		62			200					2	42	1-1.3			

附表 17　CO 系列单相电容起动电动机铁心、绕组技术数据

型号	额定参数					空载电流/A	定子铁心/mm			绕组型式	槽数 Z_1/Z_2	主绕组		辅绕组		电容器/μF	参考图例
	功率/W	电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数		外径	内径	叠厚			每极匝数	线规/mm	每极匝数	线规/mm		
CO-6322	180	1.95		60	0.70	1.3	102	52	52			301	0.57	273	0.41	75	
CO-6332	250	2.5		63	0.72	1.53			70			270	0.62	189	0.49	100	
CO-7112	370	3.5	2800	65	0.74	1.73	130	66	62	5/5-B	24/18	218	0.74	224	0.53		图 2-94
CO-7122	550	4.84		68	0.76	2.4			80			159	0.90	140	0.62	150	
CO-8012	750	6.25		70	0.78	3.6	138	74	70			146	0.67 0.69	165		200	
CO-6334	180	2.44		56	0.60	1.9	102	58				200	0.67	98	0.41		
CO-7114	250	3.05		60	0.62	2.4	130	72	62	3/3-A	24/22	161	0.80	112		100	图 2-99
CO-7124	370	4.17	1400	63	0.64	2.9			80			126	0.90	131	0.49		
CO-8014	550	5.65		66	0.67	4.2	138	84		4/3-B/A	36/34	116	2-Φ0.69	147	0.57	150	图 2-101
CO-8024	750	7.05		69	0.70	4.8			100			93	0.72 0.80	114	0.64	200	

附表 16 BO 系列单相电阻起动电动机铁心、绕组技术数据

型号	额定参数					空载电流/A	定子铁心/mm			绕组型式	槽数 Z_1/Z_2	*主绕组		辅绕组		参考图例
	功率/W	电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数		外径	内径	叠厚			每极匝数	线规/mm	每极匝数	线规/mm	
BO-5612	60	1.01	2800	42	0.64	0.58	90	48	40	6/6-B	24/18	520	0.41	227	0.31	图 2-96
BO-5622	90	1.19		52	0.66	0.72			48			472	0.47	179	0.35	
BO-6312	120	1.43		56	0.68	1.16	102	52	44	6/6-B	24/18	379	0.51	187-14	0.38	图 2-96
BO-6322	180	1.95		60	0.70	1.2			56			352	0.59	174		
BO-6332	250	2.5		63	0.72	1.52			70	5/5-B*		270	0.62	125	0.41	图 2-94
BO-7112	370	3.5		65	0.74	1.75	130	66	62			218	0.74	140	0.49	
BO-5614	40	1.05	1400	32	0.54	0.94	90	52	40	3/3-A	24/22	374	0.38	150	0.27	图 2-99
BO-5624	60	1.28		38	0.56	1.06			48			318	0.41	126	0.29	
BO-6314	90	1.6		44	0.58	1.21	102	58				288	0.53	128	0.31	
BO-6324	120	1.85		50	0.59	1.59			56			248	0.57	109	0.33	
BO-6334	180	2.44		56	0.60	1.92			70			200	0.67	89	0.38	
BO-7114	250	3.05		60	0.62	2.37	130	72	62			161	0.80	123	0.41	
BO-7124	370	4.17		63	0.64	2.92			80			126	0.90	79		

*注：部分绕组采用 6/6-B 型式。

附表 15　DO2 系列单相电容运转电动机铁心、绕组技术数据

型号	额定参数					定子铁心/mm			绕组型式	槽数 Z_1/Z_2	主绕组		辅绕组		电容器 /(μF/V)	参考图例
	功率 /W	电流 /A	转速 /(r/min)	效率 (%)	功率因数	外径	内径	叠厚			每极匝数	线径 /mm	每极匝数	线径 /mm		
DO2-4512	10	0.20	2800	28	0.80	71	38	45	3/3-A	12/18	868	0.18	971	0.16	1/630	图 2-92
DO2-4522	16	0.26		35							750	0.20	796	0.19		
DO2-5012	25	0.33		40	0.85	80	44				519	0.25	819	0.23	2/630	
DO2-5022	40	0.42		42	0.90						489		698	0.25		
DO2-5612	60	0.57		53		90	48	50	6/6-B	24/18	454	0.28	527	0.31	4/630	图 2-96
DO2-5622	90	0.81		56							363	0.33	467			
DO2-6312	120	0.91		63	0.95	96	50	45			415	0.40	593			
DO2-6322	180	1.29		67				54			320	0.45	427	0.33	6/630	
DO2-7112	250	1.73		69		110	58	50			271	0.50	382	0.45	8/430	
DO2-4514	6	0.20	1400	17	0.80	71	38	45	2/1-A/B	12/18	700	0.18	675	0.16	1/630	图 2-97
DO2-4524	10	0.26		24							600	0.20	620			
DO2-5014	16	0.28		33		80	44				560	0.21	455	0.21	2/630	
DO2-5024	25	0.36		38	0.82						436	0.25	435			
DO2-5614	40	0.49		45		90	54	50	3/3-A	24/18	356	0.28	508	0.23		图 2-99
DO2-5624	60	0.64		50	0.85						348	0.31	339	0.28	4/630	
DO2-6314	90	0.94		51		96	58	45			302	0.35	374	0.31		
DO2-6324	120	1.17		55				54			259	0.40	365			
DO2-7114	180	1.58		59	0.88	110	67	50	3/3-A	24/30	206	0.42	330	0.38	6/430	图 2-99
DO2-7124	250	2.04		62	0.90			62			165	0.47	268	0.42	8/430	

附表 11　ZD、ZDY 系列锥形转子起重用电动机铁心、绕组技术数据(380V)

型号	额定参数				空载电流/A	定子铁心				槽数	定子绕组						参考图例
	功率/kW	电流/A	效率(%)	功率因数		外径/mm	内圆中径/mm	长度/mm	气隙/mm	Z_1/Z_2	极数	型式	节距	接法	每槽线数	线规/mm	
ZDY11-4	0.2	0.7	65	0.67	0.55	120	70	40	0.25	24/22	4	单链	1—5	1 Y	215	ϕ0.38	图 2-51
ZDY12-4	0.4	1.3	67	0.70	0.75			60							145	ϕ0.47	
ZDY21-4	0.8	2.2	73	0.75	1.45	167	98	62	0.35						95	ϕ0.67	
ZD21-4																	
ZD22-4	1.5	4	74	0.76	2.28	167	98	100	0.35						60	ϕ0.85	
ZD31-4	3	7	80	0.81	3.6	210	128	86	0.45	36/30	4	单交叉	7、8	1 Y	34	ϕ1.18	图 2-52
ZD32-4	4.5	10	82	0.83	5.2			112							26	2-ϕ0.95	
ZD41-4	7.5	16.5	82	0.84	7.5	245	155	30	0.5			双叠	1—8		20	2-ϕ1.15	
ZD51-4	13	28	83	0.85	10.5	280	175	165	0.55					2 Y	28	2-ϕ1.12	

注：电动机定额为断续工作制，额定持续率为FC = 25%(周期为 1min)。

（续）

型号	额定参数				定子铁心				定转子槽数	定子绕组						参考图例
	功率/kW	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm	气隙/mm		型式	节距	接法	极数	线规/mm	每槽线数	
-200-30	30	64.6	84	0.84	172	82	580	0.9	24/22	单心层同式	1—12 2—11	△	2	ϕ2.12	13	图 2-45
-200-37	37	79.2	84.5	0.84			685							ϕ2.36	11	
-200-45	45	94.6	85	0.85			725					2Y		ϕ2.24	12	图 2-20
-250-11	11	25.5	79	0.83	220	104	140	1.0	24/22	单层同心式	1—12 2—11	△	2	ϕ1.4	38	图 2-45
-250-13	13	29.7	80	0.83			162							ϕ1.5	33	
-250-15	15	33.5	81	0.84			180							ϕ1.6	30	
-250-18.5	18.5	39.8	83	0.85			255					Y		ϕ2.5	13	
-250-22	22	46.8	84	0.85			275							7×1.0	12	
-250-25	25	52.6	85	0.85			300							7×1.12	11	
-250-30	30	63.1	85	0.85			370							19×0.75	9	
-250-37	37	76	86	0.86			420							19×0.8	8	
-250-45	45	92.4	86	0.86			475							19×0.9	7	
-250-55	55	111.7	87	0.86			555							19×0.95	6	
-250-63	63	127.9	87	0.86			645					△		19×0.75	9	
-250-75	75	149.7	87.5	0.87			755					2Y		19×0.75	9	图 2-20
-250-90	90	179.6	87.5	0.87			895					2△		7×1.0	13	
-250-100	100	199.6	87.5	0.87			970					2Y		19×0.9	7	

附表 9 YQS2 系列充水式井用电泵三相电动机铁心、绕组技术数据(380V)

型号	额定参数 功率/kW	电流/A	效率(%)	功率因数	定子铁心 外径/mm	内径/mm	长度/mm	气隙/mm	定转子槽数	定子绕组 型式	节距	接法	极数	线规/mm	每槽线数	参考图例
-150-3	3	7.8	74	0.79	134	65	250	0.6	18/16	单层同心交叉式	1—10 2—9 18—11	Y	2	ϕ1.06	36	图 2-43a
-150-4	4	10	76	0.80			300							ϕ1.25	30	
-150-5.5	5.5	13.3	77.5	0.81			340							ϕ1.4	26	
-150-7.5	7.5	17.8	78	0.82			375							ϕ1.5	23	
-150-9.2	9.2	21.2	80.5	0.82			395							ϕ1.6	19	
-150-11	11	25.2	81	0.82			470							ϕ1.7	16	
-150-13	13	29.7	81	0.82			580							ϕ1.9	13	
-150-15	15	34.1	81.5	0.82			625							ϕ2.0	12	
-200-4	4	10	76	0.80	172	78	135	0.8	18/22	单层同心交叉式	1—10 2—9 18—11	Y	2	ϕ1.25	44	图 2-43a
-200-5.5	5.5	13.4	77	0.81			152							ϕ1.4	39	
-200-7.5	7.5	17.8	78	0.82			185							ϕ1.5	32	
-200-9.2	9.2	21.3	79	0.83			210							ϕ1.6	28	
-200-11	11	25.2	80	0.83			260							ϕ1.8	23	
-200-13	13	29.4	81	0.83			270							ϕ1.9	22	
-200-15	15	33.3	81.5	0.84			300							ϕ2.0	20	
-200-18.5	18.5	40.3	83	0.84		82	360	0.9	24/22	单同心	1—12 2—11			ϕ2.24	12	图 2-45
-200-22	22	47.7	83.5	0.84			435							ϕ2.5	10	
-200-25	25	53.8	84	0.84			500					△		ϕ2.0	15	

（续）

型号	额定参数				定子铁心				定转子槽数	定子绕组						参考图例
	功率/kW	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm	气隙/mm		型式	节距	接法	极数	线规/mm	每槽线数	
250-37	37	81.1	83.5	0.83	210	102	335	0.8	24/22	单层同心式	1—12 2—11	△	2	5-ϕ1.25	16	图 2-45
250-45	45	98.1	84	0.83			420							6-ϕ1.3	13	
250-55	55	118.4	84	0.84			480					2△		4-ϕ1.2	23	图 2-20
250-64	64	137	84.5	0.84			550							4-ϕ1.3	20	
250-75	75	158.7	84.5	0.85			640							4-ϕ1.4	17	
250-90	90	189.3	85	0.85			740							5-ϕ1.35	15	
250-110	110	231.3	85	0.85			850							6-ϕ1.3	13	
250-132	132	271.2	86	0.86			1000							6-ϕ1.45	11	
a250-17	17	39.8	79	0.82	205	112	140	0.8	24/20	单层同心式	1—12 2—11	Y	2	3-ϕ1.25	19	图 2-45
a250-22	22	50.4	80	0.83			170							3-ϕ1.4	15	
a250-28	28	63.4	81	0.83			220							4-ϕ1.35	12	
a250-34	34	75	82	0.84			250					2 Y		2-ϕ1.45	21	图 2-20
a250-40	40	87.6	82.5	0.84			310							3-ϕ1.3	17	

注：本系列电动机型号全称应表示如“YQSY200-4”；“YQSYa250-17”等。

（续）

型号	额定参数				定子铁心				定转子槽数	定子绕组						参考图例
	功率/kW	电流/A	效率（%）	功率因数	外径	内径	长度	气隙		型式	节距	接法	极数	线规/mm	每槽线数	
					/mm											
200-30	30	65.4	82.5	0.81	175	83	565	1.0	24/20	单层同心式	1—12 2—11	Y	2	7×1.0	565	图 2-45
200-37	37	79.7	83	0.82			670							7×1.12	670	
250-7.5	7.5	18	77.5	0.79	210	100	130	0.7	24/20	单层同心式	1—12 2—11	△	2	ϕ1.25	43	图 2-45
250-9.2	9.2	22	78	0.79			140							ϕ1.3	40	
250-11	11	25.8	78.5	0.79			150							ϕ1.4	37	
250-13	13	30.1	79	0.8			170							ϕ1.5	33	
250-15	15	33.9	80	0.8			194							ϕ1.6	29	
250-18.5	18.5	40.8	80.5	0.81			220					Y		2-ϕ1.6	15	
250-22	22	47.9	81	0.81			275					△		2-ϕ1.3	21	
250-25	25	53.8	82	0.82			305							2-ϕ1.4	19	
250-30	30	64.2	83	0.82			338							2-ϕ1.5	17	
250-37	37	77.8	83.5	0.83			380							2-ϕ1.6	15	
250-45	45	94.1	84	0.83		104	530	1.2				Y		19×0.85	7	
250-55	55	114.3	84	0.84			620							19×0.95	6	
250-64	64	130.9	84.5	0.84			750							19×1.06	5	
250-75	75	152.3	84.5	0.85			860							19×1.12	4	
250-90	90	182.8	85	0.85			980					△		19×0.85	6	

注：本系列电动机型号全称应表示如："YQS150-3"。

附表 10 YQS 系列充水式井用电泵三相电动机铁心、绕组技术数据(380V)

型号	额定参数				定子铁心				定转子槽数	定子绕组						参考图例
	功率/kW	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm	气隙/mm		型式	节距	接法	极数	线规/mm	每槽线数	
150-3	3	7.9	73	0.75	130	65	267	0.7	18/16	单层同心交叉式	1—10 2—9 18—11	Y	2	ϕ1.06	34	图 2-43a
150-4	4	10.3	74	0.76			280							ϕ1.12	32	
150-5.5	5.5	13.7	75	0.77			335							ϕ1.30	27	
150-7.5	7.5	18.5	75	0.78			410							ϕ1.50	22	
150-9.2	9.2	22.1	76	0.78			450							ϕ1.60	20	
150-11	11	26.3	76	0.78			530							ϕ1.80	17	
150-13	13	30.9	77	0.79			560							ϕ1.85	16	
150-15	15	35.6	77	0.79			635							ϕ2.0	14	
200-4	4	10.1	76	0.78	175	83	143	0.7	24/20	单层同心式	1—12 2—11	Y	2	ϕ1.40	30	图 2-45
200-5.5	5.5	13.6	77	0.78			157							ϕ1.50	27	
200-7.5	7.5	18	77.5	0.79			175							ϕ1.60	24	
200-9.2	9.2	21.7	78	0.79			221					△		ϕ1.30	33	
200-11	11	25.8	78.5	0.79			245							ϕ1.40	30	
200-13	13	29.7	79	0.80			272							ϕ1.50	27	
200-15	15	33.9	80	0.80			305							ϕ1.60	24	
200-18.5	18.5	41.6	80.5	0.80			355					Y		2-ϕ1.6	12	
200-22	22	48.2	81	0.81			400	1.0				△		ϕ1.85	17	
200-25	25	54.5	81.5	0.81			455							ϕ2.0	15	

（续）

型号	额定参数				定子铁心				定转子槽数	定子绕组						参考图例
	功率/kW	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm	气隙/mm		型式	节距	接法	极数	线规/mm	每槽线数	
-300-55	55	129.4	86.5	0.855			450			单		Y		19×1.12	6	图 2-45
-250-63	63	127.9	87	0.86			645			层	1—12	△		19×0.75	9	
-250-75	75	149.7	87.5	0.87	220	104	755	1.0	24/22	同	2—11	2Y	2	19×0.75	9	图 2-20
-250-90	90	179.6	87.5	0.87			895			心		2△		7×1.0	13	
-250-100	100	199.6	87.5	0.87			970			式		2Y		19×0.9	7	
-300-55	55	113	86.5	0.855			450					Y		19×1.12	6	
-300-63	63	129.4	86.5	0.855			520							19×0.9	9	
-300-75	75	152.3	87	0.86			585			单		△		19×0.95	8	图 2-45
-300-90	90	181.7	87.5	0.86			680			层		Y		19×1.4	4	
-300-110	110	219.6	88	0.86	262	122	780	1.2	24/22	同	1—12 2—11	△	2	19×1.12	6	
-300-125	125	248.1	88	0.86			910			心		2Y		19×1.12	6	图 2-20
-300-140	140	276.3	88.5	0.87			935			式		△		19×1.25	5	图 2-45
-300-160	160	315.7	88.5	0.87			1095							19×1.25	5	图 2-20
-300-185	185	363	89	0.87			1095					2Y		19×1.25	5	

注：本系列电动机型号全称应表示如“YQS2-150-3”。

段尽量压入槽口内，然后左手慢慢向左拉动，右手一面防止槽口导线滑出，一面梳理后边的导线，边移边压，来回扯动，使全部导线嵌入槽内。如果尚有未嵌入的导线，可用滑线板将导线逐根划入槽内。

导线嵌入后，用滑线板将槽内导线单向梳理顺直，然后把层间绝缘(对双层绕组而言)折成“∩”形，插入槽中包住槽内导线。这时，线圈的另一边要吊起，以备后面嵌上层时不致松散损坏。

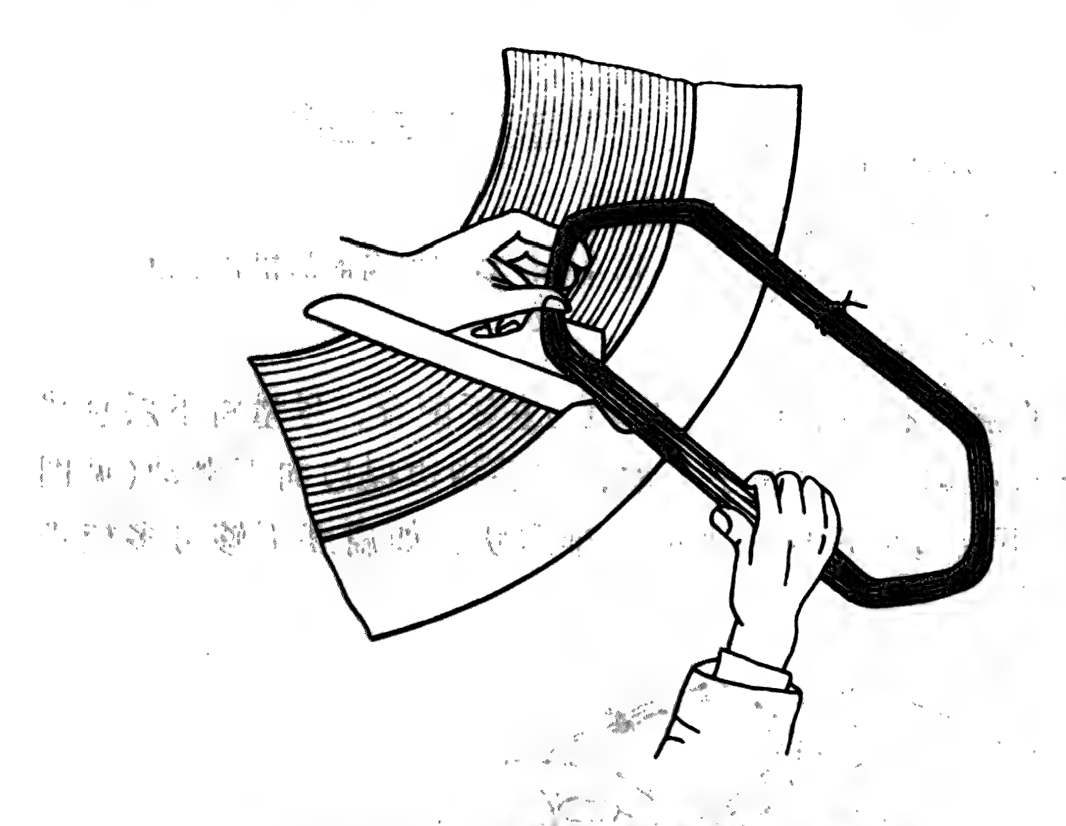


图 4-20　电机绕组嵌线操作示意图

3. 浮边与上层边的嵌法

(1) 浮边的嵌入

沉边嵌过 y 槽之后，便可嵌入第一个浮边，使以后的线圈进行整嵌而不用吊边，其操作方法与前述不同。

浮边嵌入前要把此边略提起，按前法将有效边捏扁理直，左手将导线送入槽口，右手则用滑线板把导线自左至右划入槽内两侧，当槽内导线将满时，用双掌按压已入槽的线圈端部；再用滑线板划几下以理顺槽内导线，最后把余下的导线全部划入槽内。

2.5～3.5mm，故需将软线圈捏扁到相应尺寸才能通过槽口进入槽内。其操作方法如下：

(1) 缩宽　用两手的拇指和食指分别抓压线圈直线转角部位，使线圈宽度压缩到进入定子内腔时不致碰铁心。对于节距大的线圈，则将线圈横着并垂直于台面，用双手向下压缩线圈。

(2) 扭转　把欲嵌线圈的下层边扎线解开，左手大拇指和食指捏住直线边靠转角部分，同样用右手指捏住上层边相应部位，将两边同向扭转，如图 4-18 所示，使上层边外侧导线扭向上，下层边外侧导线扭到下面。

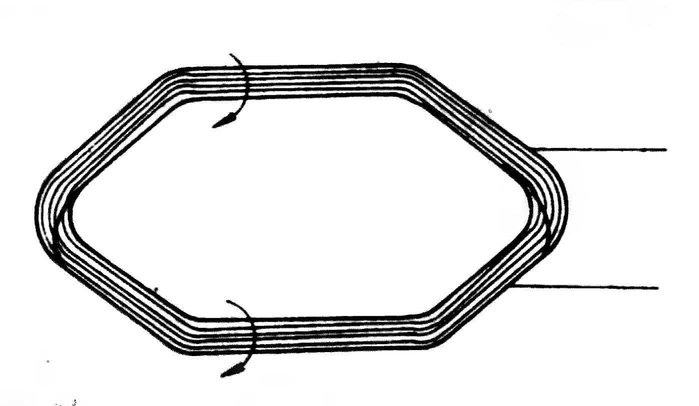


图 4-18　线圈捏扁前的扭转示意

(3) 捏扁　将右手移到下层边与左手配合，尽量将下层直线边靠转角处捏扁，然后左手不动，右手指边捏边向下滑动(见图 4-19)，使下层边梳理成扁平的一排形状，如扁度不够可多梳理几次。

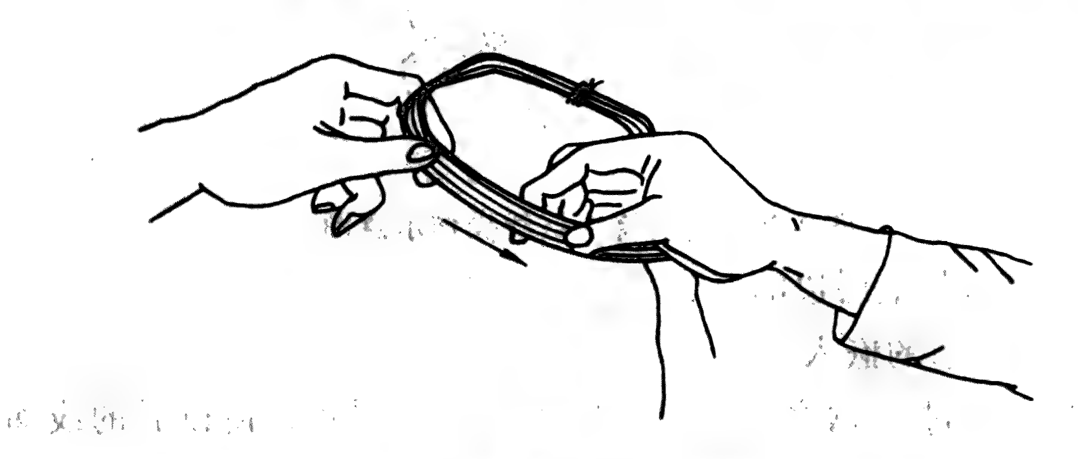


图 4-19　线圈的捏扁梳理示意

2. 下层边(或沉边)的嵌入法

右手将捏扁后的有效边后端倾斜靠向铁心端面槽口，左手从定子另一端伸入接住线圈，如图 4-20 所示。双手把有效边靠左

用纵向放置在嵌线台上，两人分别在铁心两端配合嵌线。较小的定子由单人操作，这时定子应横向稍偏斜一点放置，偏斜度大小要便于两手分别从两端进入铁心内腔操作为度。

转子嵌线时不论单人或双人操作，一般均应横向放在嵌线架上进行。

(3) 始槽位置的选定原则　电动机定子出线盒端应在操作者的右手一侧，1 号槽的位置应在嵌线后的引出线位于出口两侧分布，并使之最短。

(4) 线圈组的放置　工作台要清扫干净，待嵌的线圈组放在电机的右手侧(单人操作)，如工作台有油污或不够清洁时，要先用纸垫铺。线圈组的放置方向是引线端向着电机铁心，并使第 1 个挂线的全匝数线圈叠放在最上面，其余线圈依连绕的先后顺序叠放，嵌线时要将每个线圈向电机方向翻转，如图 4-17 所示。

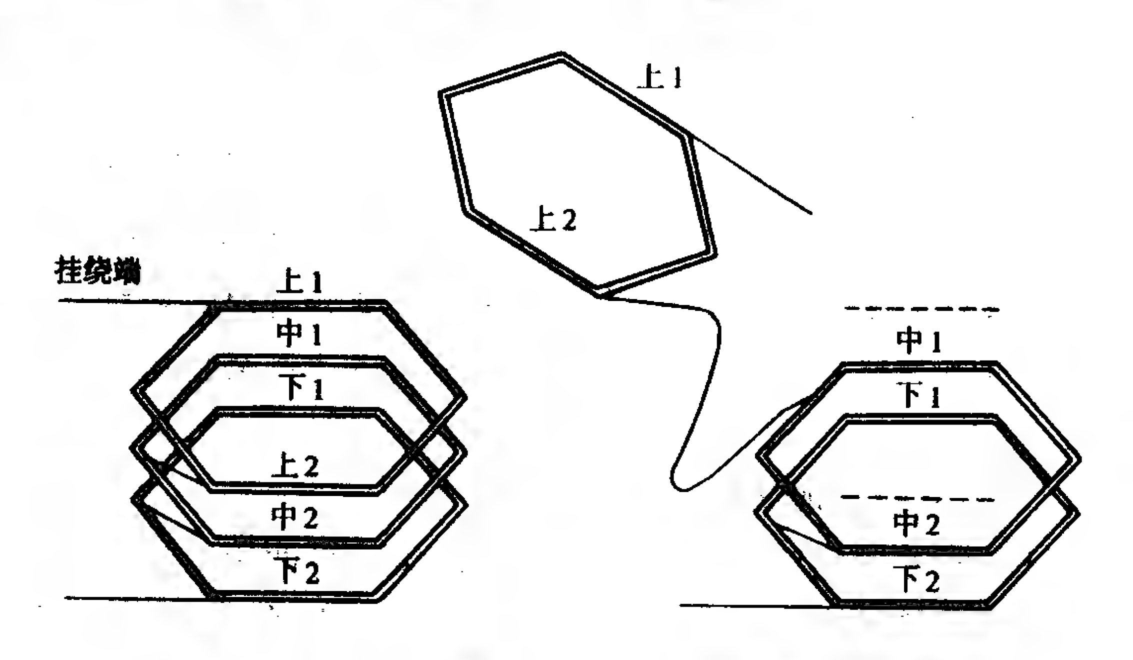


图 4-17　电机连绕线圈组嵌线前的放置及翻转情况示意

二、嵌线操作通用规则与手法

电动机有不同的绕组型式，其嵌线方法各有特点，但在具体操作中却有一些通用的基本规则和手法。

1. 线圈的捏扁

因为软线圈嵌入的是半闭口槽，小型电机的槽口宽一般只有

6）依次退后一槽嵌入一个整线圈，嵌完所有线圈为止；

7）最后把原来吊起的线圈边依次嵌入槽 11、10、9、8、7、6、5 的上层。

嵌线工序完毕，可进入下一工序。双层绕组的各类电机的具体嵌线都可参照此程序进行。

（二）单层链式绕组的嵌线

采用这种嵌线方法的有三相单层链式绕组和单相交叠式布线的链式绕组。

1. 单层链式绕组嵌线的基本规律

它的每组元件数 S = 1，有两种嵌线方法，其嵌线基本规律分别为：

（1）交叠法　每嵌好一槽往后退，空出一槽再嵌一槽，循此规律，直至完成。

（2）整嵌法　每嵌好一相再嵌另一相，分相嵌入相应槽中，每相绕组处于同一平面；从而使单相绕组形成“双平面”；三相绕组形成“三平面”。

2. 单层链式绕组嵌线工艺程序

采用交叠吊边法也有两种嵌法：

（1）单圈嵌法　它是以每元件为一线圈组嵌线，具体嵌线可参考典型范例的嵌线顺序表进行。它的每个线圈都要接线，但嵌线工艺简单，不易出错，初学者容易掌握。

（2）连相嵌法　它的一相线圈连绕而成。因绕组属显极布线，相邻两(组)线圈极性要相反，故需将奇数线圈倒转后嵌入。其嵌线方法程序由 $Z = 12$ 槽、$2p = 2$ 极、节距 $y = 5$ 槽的三相单层链式绕组图 4-22 说明嵌线工艺。

1）嵌线前工作准备完毕。把线圈放置次序如图 4-17 所示；

2）双手将 U 相第 1 只线圈抬起，以两端部为轴心，向前翻转 180°，使原靠身边(上 2)与(上 1)换位；

3）再把线圈往左翻向定子，然后把换位后靠身的上 1 作为沉边嵌入槽 2，吊起另一边；

下面以 $Z=24$ 槽、$2p=2$、节距 $y=7$ 槽、每组圈数 $s=4$ 的台产管道泵电动机(图 4-21)为例介绍双层叠绕组的嵌线工艺(设下层边槽号为线圈号)。

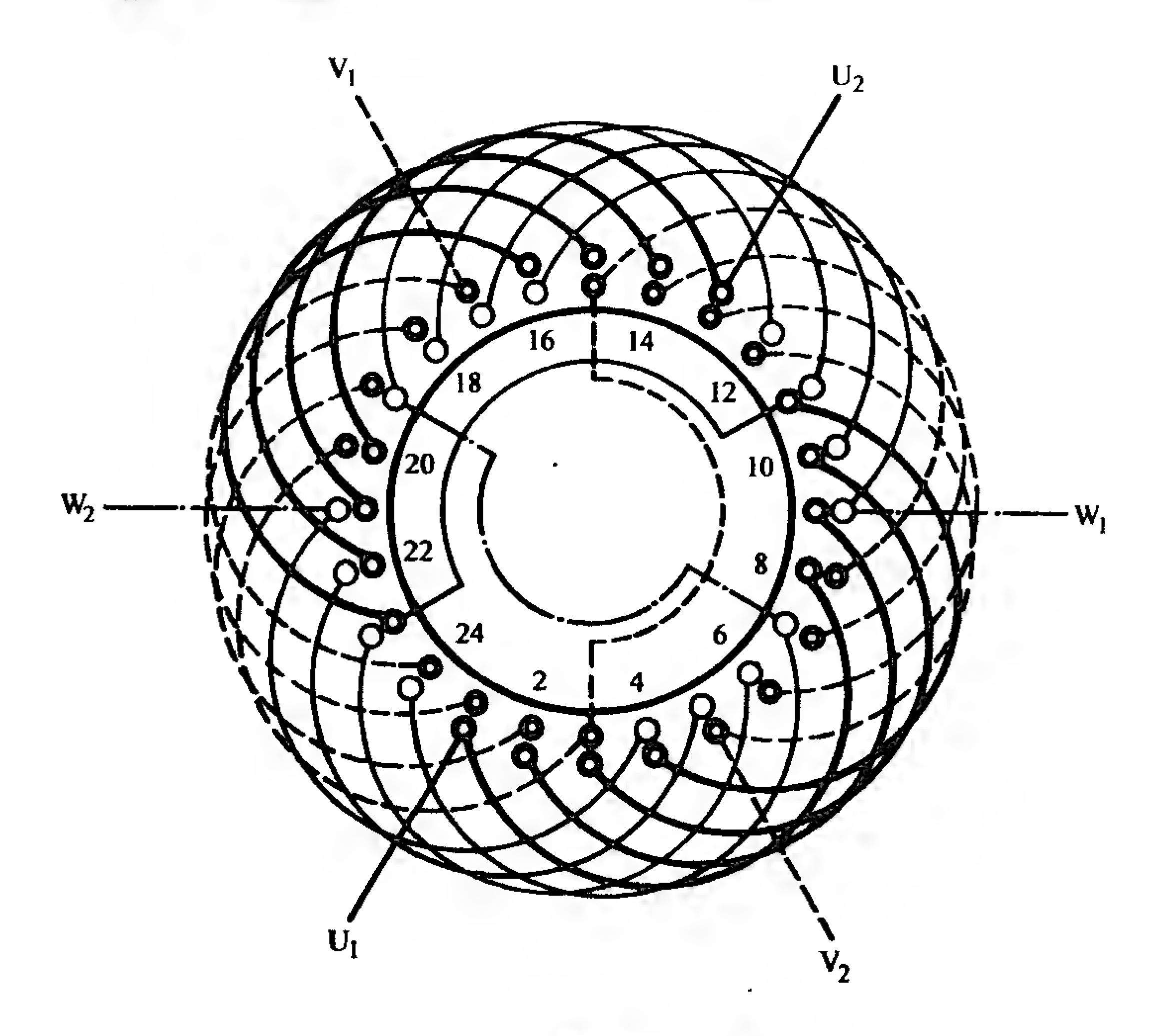


图 4-21 三相 24 槽 2 极双层叠式绕组

1）嵌线工作完毕并放置槽绝缘后，将准备好的线圈组上面第一个(带挂线的)线圈向左翻起，如图 4-17 所示；

2）将线圈有效边嵌入选定的槽 4 下层，放置层间绝缘后将另一边吊起；

3）同样翻起第二个线圈，向后退一槽，先把过线放入槽 3，随后再把下层边嵌入槽内。放置层间绝缘，吊起上层边；

4）按此依次嵌入槽 2、1、24、23、22，即共需吊起 7 个上层边($y=7$)，亦即嵌入 7 槽下层边；

5）从第 8 个线圈开始可整嵌不用“吊边”。即线圈 21 的下层边嵌入槽 21 底层后，另一边就可嵌入槽 4 的上层；

（2）上层边的嵌入　上层边的嵌法与浮边相同，但嵌线之前先用压线板在层间绝缘上面轻轻撬压(较大的定子则用小锤轻敲压线板背)，将松散的导线压实，并检查绝缘纸位置是否正确，然后才开始嵌入上层边。

4. 封槽口

一槽导线嵌完后，用双掌在槽口两端部按压，再用压线板从槽口进入，边进边轻轻撬压，使槽内导线密实，然后才可进行封口操作：

（1）搭边式绝缘封口

1）用长剪刀把凸出槽口的绝缘纸齐平口剪去；

2）用卷纸划片把槽口左边的绝缘纸卷折入槽内右边(如系双层绝缘则两层同向卷折)；

3）用压线板将其压实后再将右边绝缘纸卷折入槽左边，如图 5-4a 所示；

4）再用压线板边压边移的同时，插入槽楔。

（2）槽封式绝缘封口

1）用压线板将槽内导线压平后插入槽口封条；

2）压线板在封条上边移边压，并将槽楔顺势推入。

三、嵌线规律与程序

虽然各种绕组都可以应用上面介绍的通用嵌线手法，但由于它们的结构各具特点，故嵌线的规律也不尽相同。下面就其具体的嵌线方法分别进行介绍。

（一）双层绕组的嵌线

它适用于三相双层叠式绕组(包括变极绕组和分数绕组)、双层同心式绕组，也可用于单相双层绕组以及直流电枢的单叠绕组和单波绕组的嵌线。

1. 双层绕组嵌线的基本规律

每嵌好一槽(边)向后退，再嵌入一槽(边)再后退。依次逐槽嵌线，直至完成。

2. 双层绕组嵌线工艺程序

是，一个线圈的一个有效边先嵌，另一有效边暂时不能嵌入(吊起)，当该槽下层边(对双层绕组而言)或前一槽沉边(对单层绕组而言)嵌入后，才能将此边嵌入。因此，其端部的分布层次呈交叠状而称为交叠法嵌线。

(2) 整嵌法　它主要应用于同心式绕组和单相正弦绕组的嵌线。其特点是整个线圈的两有效边可以相继嵌入相应两槽，故称为整嵌法。由于每个线圈都处于同一层次，从而使绕组的端面呈明显的“双平面”或“三平面”分布状态，故又分别称为双平面布线和三平面布线。

5. “吊边”与吊边嵌线法

“吊边”也叫吊把，即采用交叠法嵌线时，线圈一边先嵌入槽，另一边要等该槽下层边或沉边嵌入后方能嵌线。在未能嵌入之前，为了防止它与铁心摩擦损伤，故须将其垫起或吊起，故称吊边。交叠法嵌线的别称又叫吊边嵌线法。

6. 嵌线的前进与后退

它是对交叠嵌线而言。因为单人嵌线时电机定子是横放的，当嵌完一槽后，如果下一个线圈有效边嵌入的槽在靠身体这边，即其嵌线趋势是使定子往后退一槽嵌入，则称后退式嵌线；反之称为前进式嵌线。通常较多采用后退式嵌线。本书均用此法进行叙述。

(三) 嵌线前的操作

(1) 放置槽绝缘　槽绝缘纸按设计尺寸将两边反折，反折长度为($e_Z+0.5$)(cm)(如不采用褶口式槽绝缘则免此工序)，然后将绝缘纸纵向褶成“U”形插入槽中。一般是将槽绝缘全部放满，但对内孔较小的定子，可先插满一个线圈节距的槽，然后加插一槽嵌一槽。微型电机内腔特别窄小时，则可放置一槽嵌一槽。

采用多层结构的槽绝缘一定要整齐，而且伸出槽口的长度要两边均匀。

(2) 嵌线电机的放置　大电机定子嵌线要双人操作，一般采

槽楔的长度(cm)

$$l_x = l_Z - e_x$$

式中　e_x——缩短尺寸，一般 B 级绝缘时取 $e_x = 0.4 \sim 0.6$cm；

E、A 级绝缘时 $e_x = 0.2 \sim 0.3$cm。

7. 引槽纸尺寸(cm)

宽度　$b_y = 1.57R + h'_s + (1 \sim 2.5)$

长度　$l_y = l_Z$

引槽纸可用厚 0.15～0.2mm 的聚酯薄膜纤维复合绝缘纸剪裁。

8. 接线头绝缘

E 级绝缘时一般可选涤纶或玻璃丝管；B 级绝缘时则可用醇酸玻璃丝管套入。

第五节　绕组嵌线程序与操作工艺

一、嵌线前准备工作

(一) 嵌线常用的简单工具

电动机的嵌线除靠双手操作外，还需借助一些工具来完成。常用的工具有下列几种。

(1) 滑线板　滑线板又称划线板，是嵌线时将线圈导线从引槽纸槽口划入槽内的工具，它也可作为理顺槽内导线的工具，故又称理线片。其基本形状如图 4-12 所示的片状物，长度约为 10～20cm，宽度约 1～1.5cm，厚度约 3mm，端部可钝可尖，但趋端变薄约 1.5mm，如用不锈钢制作还可再薄一些。

滑线板一般用大直径的既新鲜又干透的老毛竹的竹皮制作，削到相近尺寸后用粗砂布打磨，再用细砂纸打滑，清理干净后磨上石蜡即可使用。由于电机槽口尺寸大小有异，故要做厚薄、大小规格不同的几种以备用。若用不锈钢磨制，则最后要用金刚砂纸或油石打磨光滑，表面要求看不到刮痕，否则容易损伤导线绝缘。

层间绝缘是双层绕组槽内上、下层线圈的隔电绝缘，是电机绝缘重要部位，其选用的材质和厚度一般可与槽绝缘相同。槽内层间电压较高，容易造成层间线圈短路，因此其宽度要可靠地包住下层线圈边。其尺寸(cm)可由下式确定：

宽度 $b_n = 1.7b_p$

长度 $l_n = L + 2l_0$

式中 b_p——槽中部宽度，cm；

L——铁心叠厚，cm；

l_0——层间绝缘伸出铁心长度，中小型电机一般取 $l_0 = 1.5 \sim 6$cm，其总长略大于线圈直线边总长。

4. 槽口封条尺寸

封条是采用槽封式槽绝缘的槽口绝缘件，一般小电机采用0.25～0.30mm厚的聚酯薄膜复合绝缘纸剪裁；大电机则用总厚度为0.35～1.0mm的DMD复合绝缘制作(cm)。

封条宽度 $b_f = (1.2 \sim 1.3)b_1$

封条长度 $l_f = l_Z + 0.6$

式中 b_1——槽截面的肩部宽度，cm。

5. 端部绝缘

绕组端部绝缘是相间绝缘，即极相线圈组之间的绝缘。其形状如半月形，大小要求能隔开整个极相组线圈的端部，尺寸没有严格规定，但裁剪时放大些，待整形时再将多余部分修剪掉。它的绝缘结构要求与主绝缘相同。

对于大容量的电机还要求端部同相线圈之间也加一层绝缘纸隔开。若线圈节距较大时，每只线圈端部还要进行“包尖”处理。

6. 槽楔

槽楔是在封口绝缘后加在槽口内的压紧元件，它有阻止槽内导线滑出槽外和保护导线不致因电动力而松动的作用。它的选用也应与绝缘等级相适应。电机常用槽楔材料可参考表4-11购置备用，修理时根据铁心长度截取使用。

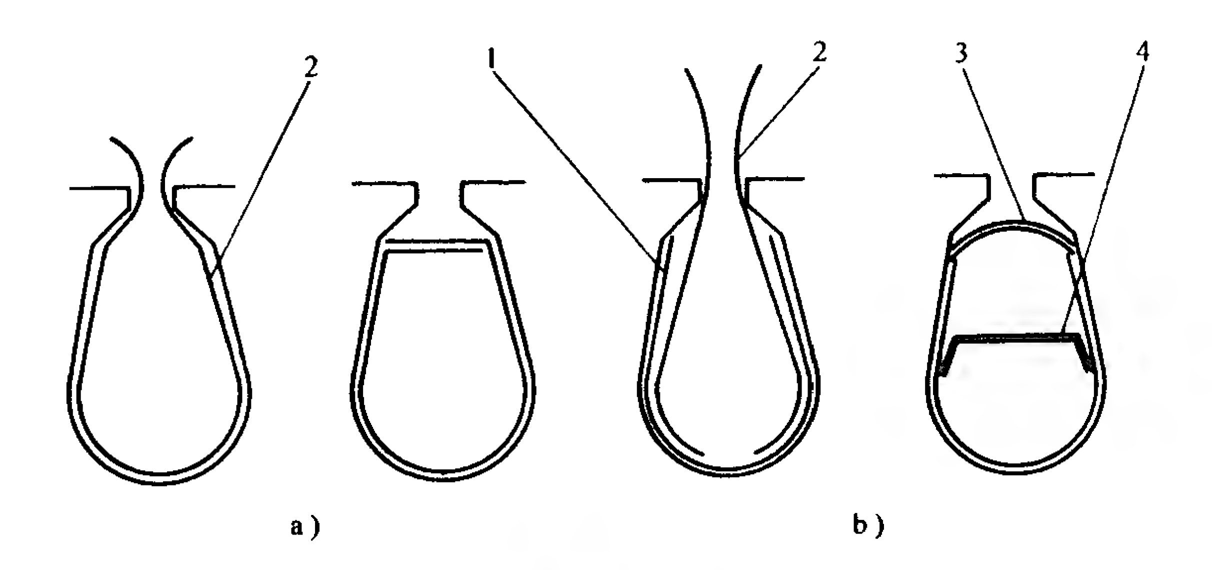


图 4-11　电机槽绝缘的两种形式

a）褶边式封口　b）槽封式封口

1—槽绝缘　2—引槽纸　3—槽口封条　4—层间绝缘

2）槽绝缘纸的长度(cm)

$$l_Z = L + 2e_Z$$

式中　L——铁心叠厚，cm

e_Z——槽绝缘伸出铁心长度，参考表 4-19 选取。

表 4-19　槽绝缘伸出铁心(一端)长度　　　(mm)

电机规格（中心高）	≤90	90～112	132～160	180～280	≥310
伸出长度	5～6	6～7	7～10	12～15	15～20

对容量较大的电动机，如果需要加强机械强度，避免嵌线时造成槽口处绝缘开裂，可将槽口绝缘设计成双层并伸入槽口5mm，这时，褶口槽绝缘纸的总长度(cm)

$$l'_Z = L + 4e_Z + 1$$

由于绝缘纸是采用延压加工，从而仍成顺向容易开裂的特点，故使用时要把绝缘纸的宽度方向作为槽绝缘的长度方向来剪裁。而编织类绝缘则要与纤维成 45°方向斜裁。

3. 层间绝缘

对于一个独立的线圈，它的引出线是没有极性的，只有嵌入铁心后与其他线圈连接时才产生极性(即头或尾)关系。通常是把铁心内每个线圈靠左手侧的引线设定为头(也可设为尾)，则另一侧引线为尾(或头)，如图4-16所示。

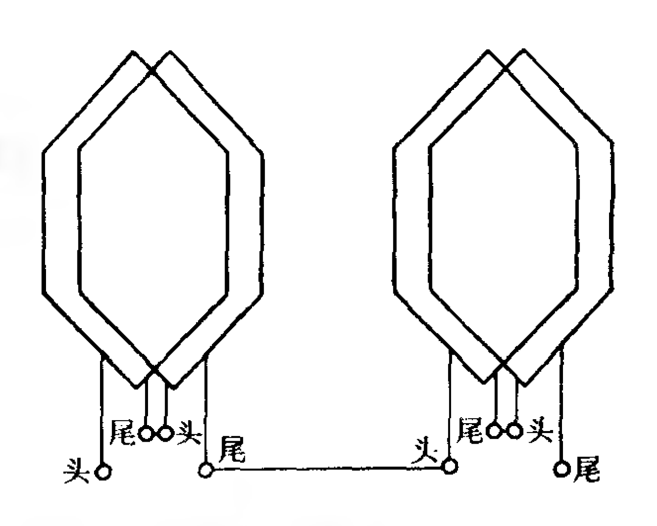


图 4-16 线圈及线圈组引线的极性设定

2. 线圈组引出线的极性

由图 4-16 可见，线圈组是由线圈顺向串联而成，故其引出线的头、尾设定的道理和线圈是一样的。但是，对于连绕的线圈组，嵌线时只能一个一个嵌，当嵌第一个线圈时，其他线圈将同时被牵着走。因此必须松开下一个线圈的扎线，牵出一匝线长以便于嵌线。为此，在绕制线圈时已作安排，第一个(即带挂线的)线圈是满匝数绑扎的，其余连绕线圈有一匝作为过线，捆扎时须少一匝。所以嵌线时一定要以这个有挂线的线圈的引线设定为头端。

3. 线圈边在嵌线操作中的称谓和含义　由于绕组结构不同，线圈有效边在嵌线时的称谓也不同。

(1) 上层边与下层边　双层绕组一个线圈先嵌入的有效边处于槽的下层，所以称为下层边或底边；另一边则称为上层边。

(2) 浮边与沉边　单层绕组在槽中没有层次之分，但先嵌有效边的端部将被后嵌的压住，故先嵌的有效边称为沉边，而后嵌边将浮现在表面，故称浮边。

(3) 前端与后端　线圈有引线的端部嵌入定子在右手侧，称为前端，也叫接线端；无引出线端部在左手侧；称为后端。

4. 交叠法和整嵌法

它是由绕组结构和布线型式决定的嵌线方法。

(1) 交叠法　应用于双层绕组及部分单层绕组。其嵌线特点

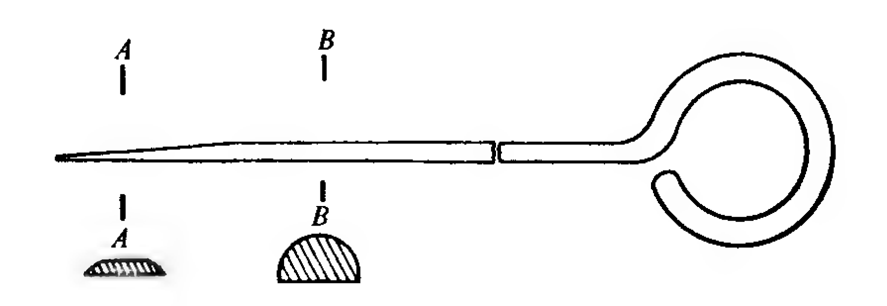


图 4-14　卷纸划片

成逐渐扁平如截面 A-A 所示。最后用粗砂布打磨，使所有棱角变得圆滑，再用金刚细砂纸或油石打磨光滑。

（4）整形敲棒与撬板　整形敲棒与撬板是绕组端部喇叭口整形的辅助工具。敲棒用硬木制成长度约 20 ~ 30cm，宽度约 3cm，厚度约 2.5 ~ 3cm，其截面如图 4-15 所示。

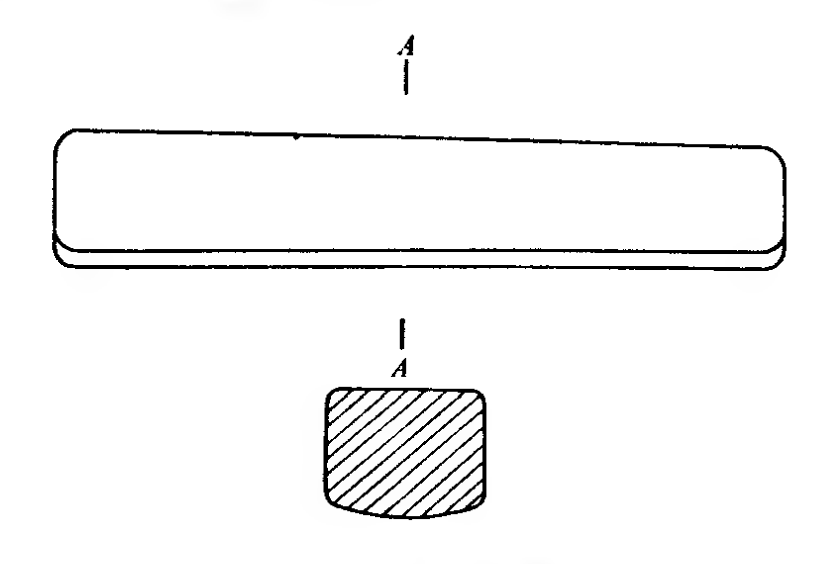


图 4-15　整形敲棒

撬板形如敲棒，但厚度较薄，约 1 ~ 2cm，故常用竹板制作，是绕组端部喇叭口外缘整形的工具。

此外，要准备的工具和物品还有电工刀、小手锤、橡胶锤、直剪和弯剪，以及砂布、石蜡、槽楔或坯料等。

（二）嵌线操作的专用术语

为了便于嵌线方法的叙述，下面将对一些专用术语先行介绍。

1. 线圈引出线的极性

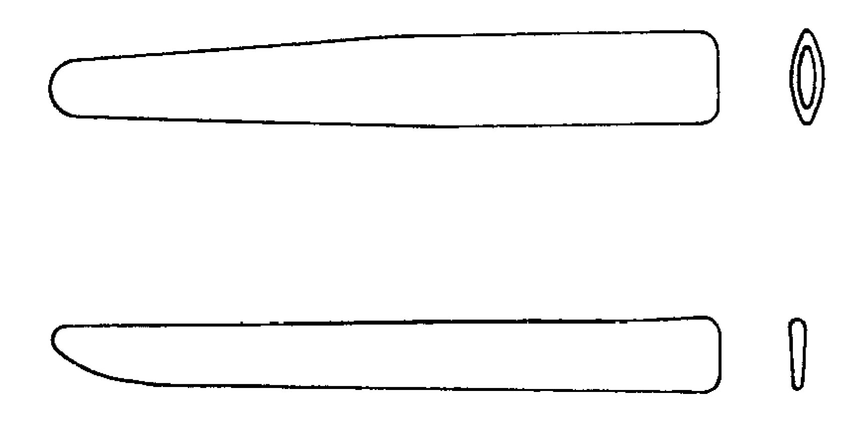


图 4-12　滑线板

(2) 压线板　压线板是将槽内导线压实、压平的工具，它也和卷纸划片配合作为揩槽口绝缘之用。其形状如图 4-13 所示。它由不锈钢或 45 号钢制成，用砂布打磨圆滑，装上木柄(图中未画出)后即可用。制作时主要控制几个尺寸，b'_0 应小于槽口宽约 0.6～2mm (小电机取小值)，b' 应小于槽肩宽 0.8～5mm (小电机取小值)，h' 约为槽深的 2/3。因此，修理电机时要备有多种不同规格的压线板供使用，修理大型电机时，一般使用无柄压线板，用手直接抓拿或用小锤敲击其背部进行压线，所以其背部应做得高一些。

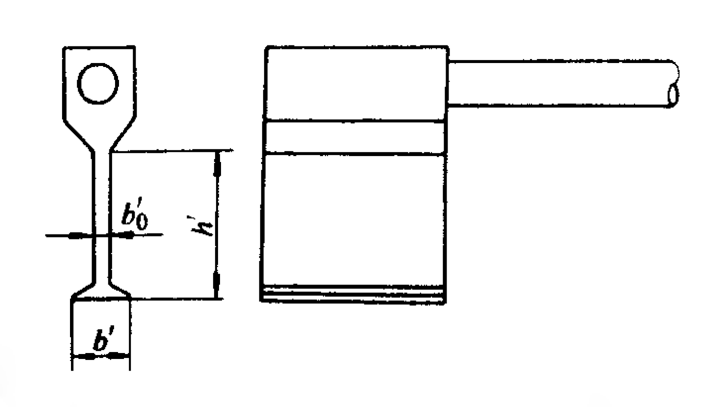


图 4-13　压线板

(3) 卷纸划片　卷纸划片是作为包卷揩边或槽口绝缘的专用工具，其形状如图 4-14 所示。因其与钳工用的划针相似，故也称划针，但其末端是薄扁形，并呈略尖形。一般长度约 15～20cm，末端厚度约 1～2mm。

划片的制作可选用 $\phi3$～$\phi4$mm 的不锈钢电焊条，敲击焊皮后将一端弯成环状，然后将直线部分用锉刀或在砂轮机上磨去 1/3～1/2 的单边平面如图中 B-B 截面所示；再把末端一段的弧面磨

绕法要好。但它的嵌绕工艺较叠绕麻烦，而且只适用于奇数槽的转子，所以一般用于奇数槽的较大规格电动机。

（3）平行对绕法　当转子为偶数槽时，V 形对绕法不能构成完整的缠绕循环，为了获得更好的对称平衡性，通常采用平行对绕法代替 V 形对绕法，其缠绕次序如图 4-26c 所示。这种绕法的次序没有前面方法那样的明显规律性，但它有一个缠绕原则，即每一嵌绕对次必须对称平行。所以在此原则下可以不按图 c 次序而任意安排嵌绕次序，但必须保证其线圈跨距的正确性。

平行对绕法比 V 形对绕法有较好的机械平衡性，但绕线次序必须每对次进行。一般用在容量较大的偶数槽转子。

（4）十字平行对绕法　当转子槽数满足于 $Z/8=$ 整数时，可以获得更为对称平衡的对绕方法。它的嵌绕次序的原则更严格，除平行对绕法的每对次要求对称平衡外，另一平行对次还必须呈十字对称安排，故称十字平行对绕法，如图 4-26d 所示。下面说明其绕法与特点。

1）从槽 1 起绕，跨节距到槽 8 得线圈 1-1′，根据平行原则嵌绕槽 9、16 得 2-2′∥1-1′；

2）第二对次必须与第一对次轴线垂直，故绕槽 5、12 和槽 13、4 得平行线圈 3-3′∥4-4′。由图 d 可见，第一回合是呈十字平行分布的，即(1-1′∥2-2′)⊥(3-3′∥4-4′)。

3）第二回合的起始槽要选未绕线圈的任何一槽，如取槽 3 则得(5-5′∥6-6′)⊥(7-7′∥8-8′)；

4）第三回合则可任选一槽，但跨槽不得与上面任一次重合，如选第 6 槽则跨节距绕线圈(9-9′∥10-10′)⊥(11-11′∥12-12′)；

5）最后嵌绕第四回合得线圈(13-13′∥14-14′)⊥(15-15′∥16-16′)。

2. 串励电枢的手绕方法

交直流两用串励电枢绕组一般极少有 1:1 的，通常所见多为 3:1 或 2:1，即每槽有 3 或 2 个元件。因此手绕的嵌线工艺有两种。

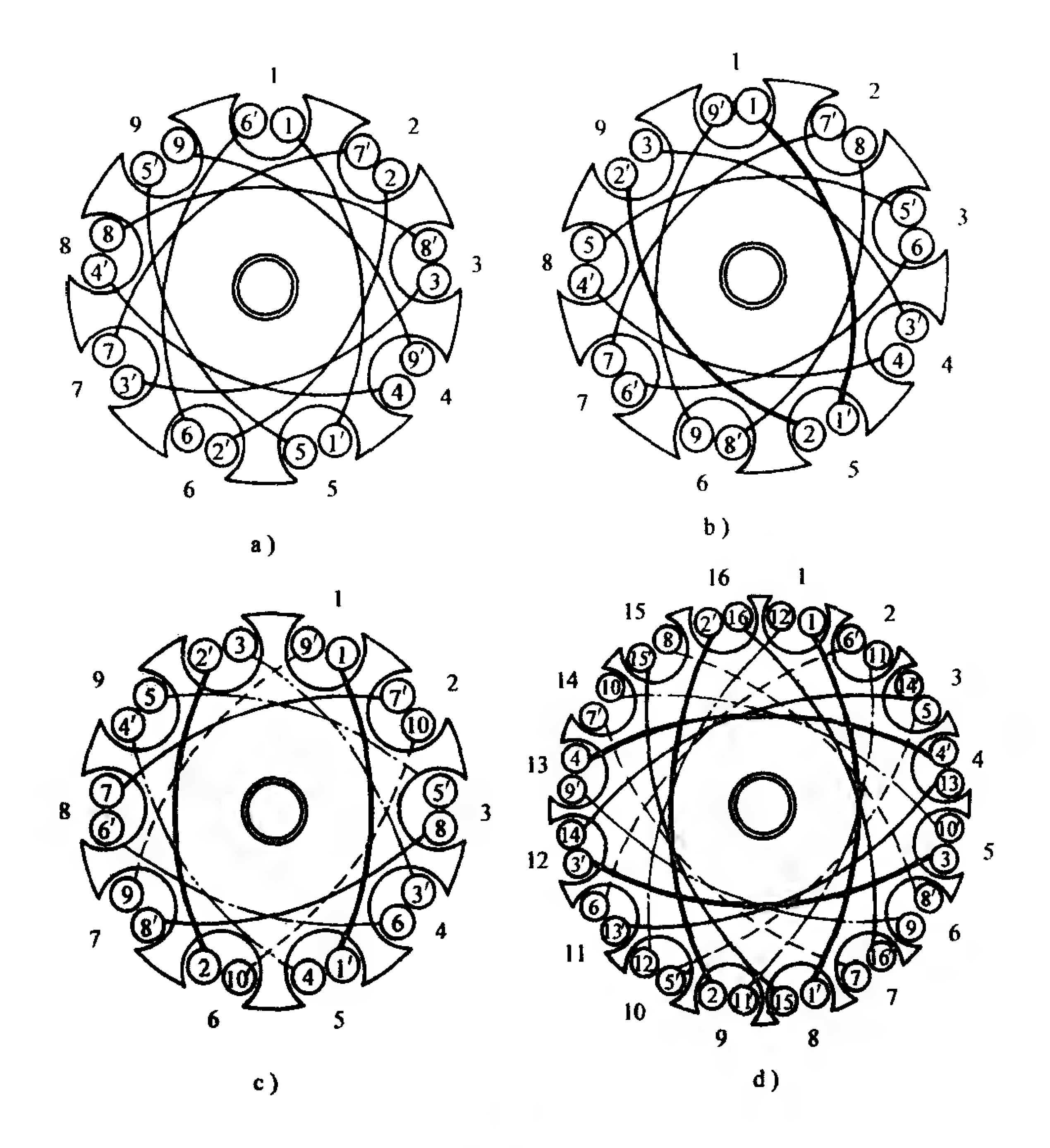


图 4-26 交直流串励电枢嵌绕方法及次序示意图

（铁心外缘数字代表槽号；槽内加圈数字代表绕线次序，

如 1-1′即从 1 进入，绕到后边再由 1′退出来）

a）叠绕法 b）V 型对绕法 c）平行对绕法 d）十字平行对绕法

（2）V 形对绕法 V 形对绕法的缠绕特点是依次连绕。即从第 1 槽开始跨节距到第（$yz+1$）槽，绕满匝数后，下一轮则以该退出槽为起始绕第 2 个线圈，如图 4-26b 所示。因线圈 1-1′和 2-2′在端面上呈“V”形相对，故称 V 形对绕法。由于每一对次缠绕线圈的匝长基本相同，所以它的电气性能和机械平衡性都比叠

24 所示的手绕嵌线；也可装入如图 4-25 所示的专用绕线夹具辅助嵌绕。

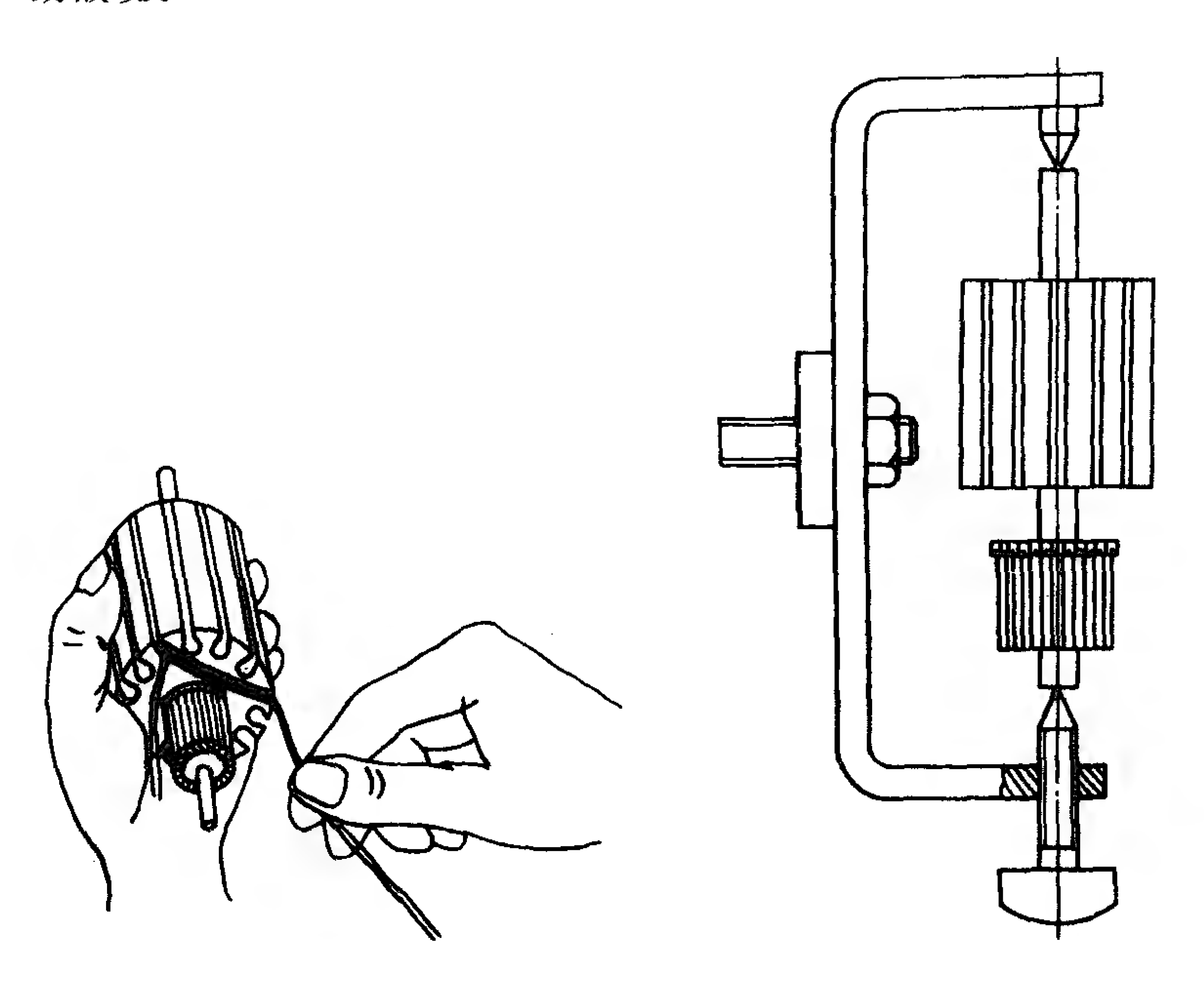


图 4-24　转子电枢绕组手绕方法示意

图 4-25　电枢在绕线机上辅助绕线夹具

1. 串励电枢的嵌绕形式

按嵌线的次序有如下几种形式。

（1）叠绕法　叠绕法的缠绕特点是以槽序为嵌绕顺序，即从第 1 槽开始跨线圈节距缠绕线圈 1-1′，绕满匝数后，顺槽号从第 2 槽开始跨节距绕线圈 2-2′等，如图 4-26a 所示。这种绕法的后绕线圈是叠在先绕线圈上的，故称叠绕法。它的绕线工艺简单，缠绕方便不易出错，而且适应性广，不论奇数槽或偶数槽均能采用。但由于后绕线圈的线匝要比先绕的长，使绕组运行时的两支路电流不平衡而使换向条件恶化，而且电枢绕好后很难满足机械平衡。所以一般只应用于规格较小的电动机中。

台电机的硬线圈必须规格划一，如果变形过大就会造成嵌线困难。在修理中，若线圈只是绝缘损坏，则重绕时可只作重包绝缘修复。

电枢硬线圈适用于开口槽转子，其嵌线工艺如下：

1）检查换向器　换向器升高片是线圈接入换向器的过渡元件，接线槽内如有焊锡充填将影响接线，应用烙铁或喷灯加热，清除干净后，检查换向器对地和相邻换向片间绝缘是否良好；

2）绝缘处理　电枢绕组前后端部支架按层间绝缘等级放置绝缘，再用玻璃丝带捆扎、刷漆；然后放置槽绝缘；

3）找出下层边记号槽和该槽接入换向片的标记作为第 1 槽，将下层边压入开口槽底，另一边暂时吊起；

4）按原记号将下层边第 1 个线头嵌入换向片第一个记号的升高片接线槽内，若线头凸出则要整理与线槽齐平；

5）线头在换向器内侧段的弧度要理顺，并用橡胶锤轻敲使其与下面的衬垫绝缘紧贴。

6）再将同槽第 2 个线头嵌入第二个记号接线槽内，线头之间要用绝缘隔开，并将其整形成与前面线头的弧形相同并靠紧密贴(这时的线端允许有少许凸出)，然后再嵌入整理下一个线头；

7）同样依次嵌入线圈下层边，另边吊起；

8）嵌满线圈槽节距后，线圈便可以整嵌。这时，在两端部线圈上下层间要衬垫层间绝缘，其一边要伸入线圈直线部分约 3mm，另一边则紧靠升高片(或换向器)端位；

9）在第(y_z+1)槽下层边上放入层间槽绝缘垫条后，将该节距线圈的上层边嵌入该槽上层，然后用橡胶锤敲打端部，使其紧密服贴；

10）依此顺序嵌入各个线圈，直到最后一个节距要嵌时，须把前面吊起的线圈边扳起一点才能将其嵌人；

11）依次把原来吊起的上层边全部嵌入已垫好层间绝缘的槽内上层；

12）最后，压紧槽内线圈边，加衬垫，封槽，打入槽楔。

拉力，故缠绕紧密，适用于导线较细的小容量或高电压的电枢绕组。

（九）直流电机绕组嵌线

直流电机有多种型式，但绕组基本分为磁场绕组和电枢绕组两部分。

1. 磁场绕组的绕线

直流电机磁场绕组是集中或凸极绕组，并励绕组的匝数多、导线截面小，一般用绝缘的圆铜线或扁铜线在线模上绕制。大容量的串励和换向极绕组则因匝数较少而电流大，故用大截面积的矩形导线绕制成硬绕组。为了接线方便，一般采用如图 4-28 所示的正反绕法绕制。

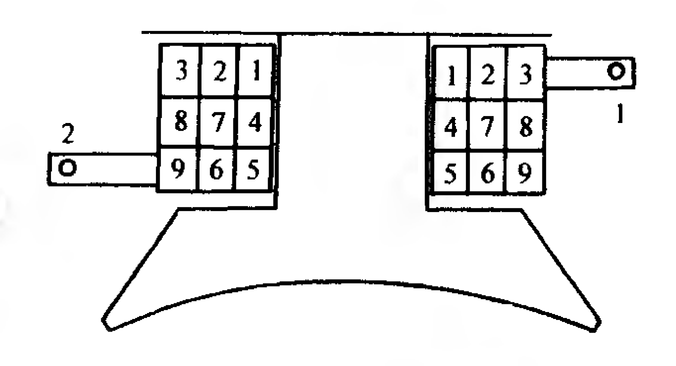


图 4-28　直流电机励磁硬绕组正反绕法示意

硬绕组绕线工艺程序：

（1）反绕一边的全部叠层匝数　图中一边为 3 层，故预留 3 匝及引线的总长，从里至外反绕 1、2、3 匝，出线头 1；

（2）平绕内层　将绕第 1 匝的线平绕到第 4 匝，再平绕到第 5 匝，完成内层绕线；

（3）转层平绕，从内层最后一匝叠绕转到第二层（该层排列次序与前一层相反），然后平绕该层匝数（图中为 6、7 匝）；

（4）再转层平绕　绕完该层再叠绕转上一层（该层排列次序与前一层相反），再与第一层相同的绕序绕完该层。各层绕法按此类推。

2. 电枢硬绕组的嵌线

功率较小的直流电机电枢绕组是采用散绕软绕组，其绕线和嵌线方法同双层绕组，可参考进行嵌线。功率较大的线圈是用绝缘扁铜线绕成单匝线圈；再大功率的线圈则用大截面的裸铜梗经绕制、成形、整形、退火以及包绕绝缘等工序制成的硬线圈。一

（1）串绕工艺　又叫单圈绕法。它是用单根导线嵌绕，绕足一个元件匝数后，留够接线长度不剪断，并扭成麻花结，如图4-27a所示。然后绕第二个元件，一槽线圈全部元件绕完有两种处理方法：一是采用叠绕法嵌绕时，仍可扭成麻花结，再过到第2槽继续嵌绕；二是其他绕法则必须将其尾线剪断，按绕法的嵌线槽重新开始嵌绕。

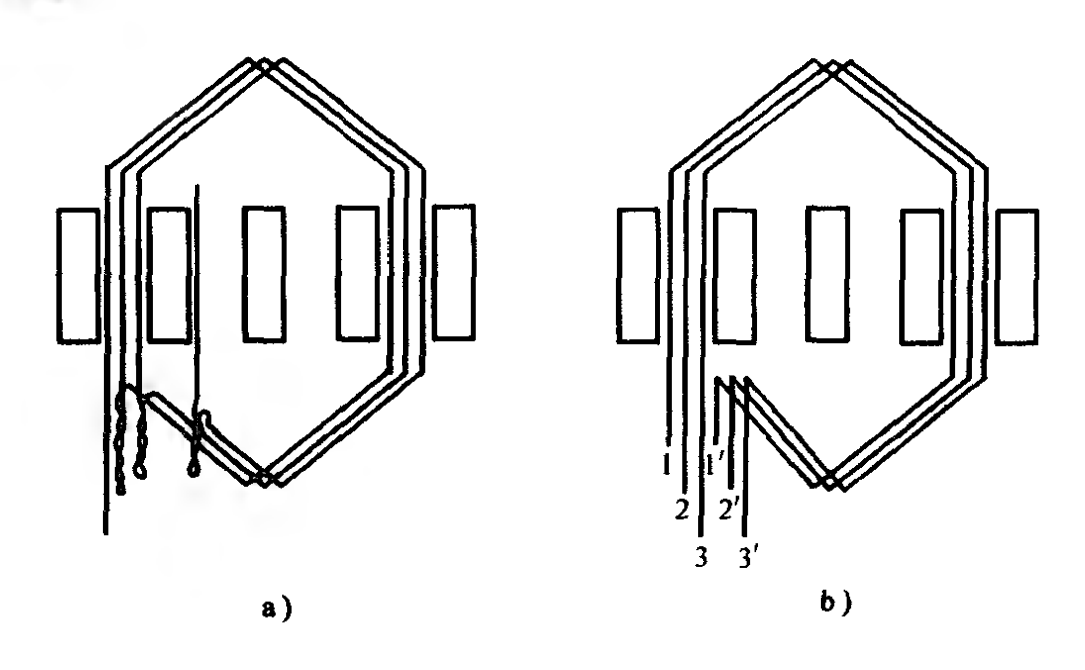


图 4-27　电枢绕组的串绕和并绕工艺示意

a）串绕工艺　b）并绕工艺

串绕工艺的特点是引接线头容易区分，接线方便，但每次只能绕一个元件，3:1 的九槽转子则要绕 27 次才能完成，故工效很低；另外，采用单根导线缠绕操作容易拉断。所以适用于导线较粗而匝数又较少的低电压(如 36V)或大容量的电枢绕组。

（2）并绕工艺　又称多圈绕法。它是将每槽的几个元件的导线并联在一起进行嵌绕，绕满匝数后留出适当长度剪断，并用万用表检测判别出三个线圈的头和尾，剪成明显不同长短(也可用套管或其他办法区分)的记号，如图 4-27b 所示。然后把几根尾线引到头线槽处，与头线暂时绞在一起，以便以后查接线。其他槽线圈根据嵌绕形式的次序，以同样方法嵌绕，直至完成。

并绕工艺的特点是嵌线工效高，一次能嵌绕完一槽的几个元件，但查对、接线繁琐，容易出错；但多根并绕时能承受较大的

（1）8槽双速电扇嵌线基本规律　此种绕组常用简便的分层嵌法，其嵌线规律：整圈对称时，底层先嵌主绕组，辅相随后嵌在上面，调速绕组嵌上层。

（2）嵌线工艺程序　下面以范例图2-104说明嵌线工艺

1）准备工作完成及槽绝缘放置后，将主绕组一线圈两边分别嵌入槽1、3底层；

2）在对称位置槽5、7底层嵌入第二只线圈；

3）插入层间槽绝缘，将主绕组其余两线圈分别嵌入槽3、5和槽7、1，均为上层；

4）垫好端部层间绝缘，将辅绕组两线圈分别嵌入槽2、4和槽6、8的底层；

5）插入层间槽绝缘并垫好端部绝缘后，将调速绕组两线圈分别嵌入槽4、6及槽8、2的上层。

2. 单相16槽四极电容式三速电扇绕组嵌线

16槽电扇的绕组布线有多种形式，双速时可以是单层结构，三速时一般是单双层结构。下面以范例图2-107为例说明嵌法，其中主绕组由4只单层线圈组成，调速绕组与辅绕组同相，各有4只占1/2槽的双层线圈。

（1）16槽三速电扇嵌线基本规律　主相顺序嵌单层，辅相移相嵌下层，调速绕组嵌上面，各层之间垫绝缘。

（2）嵌线工艺程序

1）做完嵌线准备，主绕组四个线圈顺序整嵌入槽1、4；5、8；9、12；13、16；

2）垫好端部层间绝缘，将辅绕组四个线圈分别顺次嵌入槽15、2；3、6；7、10；11、14底层；

3）垫入层间槽绝缘及端部绝缘后，将调速绕组四个线圈分别顺次嵌入11、14；3、6；15、2；7、10面层。

（八）交直流两用串励电动机绕组嵌线

交直流两用串励电动机的定子磁极是凸极形式，每极为一集中式绕组套在凸极上。转子电枢是单叠式绕组，一般采用如图4-

（四）单层交叉式三相绕组的嵌线

单层交叉式绕组最常见的是单双圈分布形式，其中双圈（大）组为等节距交叠结构，单圈（小）组比双圈节距短一槽。

1. 单层交叉式绕组嵌线的基本规律

先嵌双圈（二槽）往后退，空出一槽嵌单圈，再退两槽嵌双圈。循此嵌入，直至完成。

2. 单层交叉式绕组嵌线工艺程序

下面以范例图 2-52 为例说明。

1）做好嵌线准备后，将 U 相双圈组上面的线圈向左翻起，沉边嵌入槽 3；再翻起下面的线圈，把过线放在下面，与沉边一起嵌入槽 2，两浮边均吊起。

2）后退空出一槽，把 W 相单圈沉边嵌入槽 36，浮边也吊起；

3）退空 35、34 两槽，把 V 相双圈沉边嵌入槽 33，其浮边跨节距嵌入槽 5；然后整嵌线圈入槽 32、4；

4）退空一槽（31），把 U 相单圈整嵌入槽 30、1；

5）再退空二槽整嵌双圈；退空一槽整嵌单圈，把全部线圈嵌入相应槽中；

6）最后，把原来吊起的浮边依次嵌入槽 11、10、7。

单层同心交叉式绕组的嵌线规律相同，但同心绕组的内线圈次序不相同。

（五）单相正弦绕组的嵌线

正弦绕组是线圈为不等匝数的正弦分布，线圈组为同心式，每极线圈为满圈分布时是双层同心绕组结构，缺圈分布则是单双层混合结构。但绕组分 A 类和 B 类安排。A 类绕组的最大节距等于极距，故该槽是同相双层线圈，其布线可采用交叠形式或整嵌分层形式；B 类绕组的最大节距小于极距，故是同相单层布线。

1. 正弦绕组嵌线的基本规律

一组嵌线小为先，正弦主辅分层嵌，主相在底辅在面，同相双层嵌法异，上下层间隔绝缘。

它有两种嵌法：

(1) 交叠法　嵌好 S 槽向后退，空出 S 槽再嵌 S 槽，如此类推。

(2) 整嵌法　先嵌好一相线圈，再嵌另一相线圈，逐相整嵌，使单相绕组形成“双平面”，三相绕组形成“三平面”分布。

2. 单层同心式绕组嵌线工艺程序

单层同心式绕组有两种嵌法。下面以 $Z=24$ 槽、$2p=2$ 极、每组元件数 $S=2$、节距 $y=1\sim12$、$2\sim11$ 的三相单层同心式绕组的典型范例图 2-45 说明嵌法如下。

(1) 交叠嵌法

1）嵌线准备工作做完后，将 U 相线圈组向左翻起小圈，将沉边嵌入槽 4，浮边吊起；

2）向左翻起大圈，将沉边嵌入槽 3，浮边吊起；

3）向后退空两槽(1、2)，顺次将 W 相线圈组的小圈、大圈沉边翻起，分别嵌入槽 24、23，浮边吊起；

4）退空两槽，同样将 V 相小圈沉边嵌入槽 20，这时浮边也可嵌入槽 5；再把大圈整嵌入槽 19 和槽 6；

5）依此空两槽嵌两槽将全部线圈嵌入相应槽中，最后把吊起的浮边 14、13、10、9 嵌入相应槽中。

交叠嵌法在同心式绕组中可用于四极以上的电机，对于大节距的二极电机，因其吊边过多，嵌线操作十分不便。

(2) 整嵌法

1）准备完毕。向左翻起小线圈嵌入槽 4、13，大线圈嵌入槽 3、14；再将另一组嵌入槽 16、1，15、2；

2）垫好端部相间绝缘，将 W 相的线圈分别嵌入槽 24、9，23、10；12、21，11、22；

3）垫好端部绝缘再嵌入 V 相线圈组 20、5，19、6；8、17，7、18。

同心式绕组采用整嵌法在国外很普遍，但国内一般多用于二极电动机。

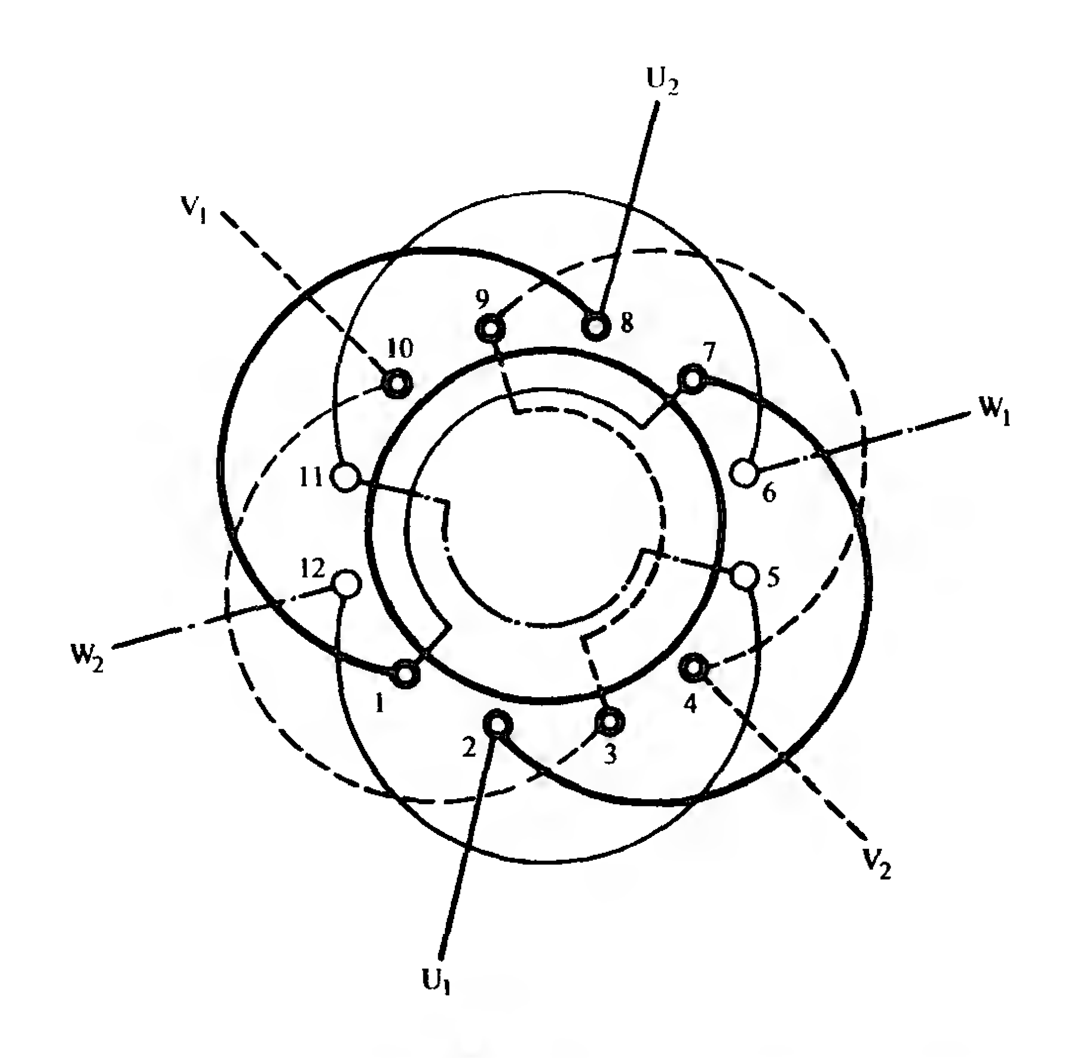


图 4-22 三相 12 槽二极($y=5$)单层链式绕组

4）空出一槽向后退，将 W 相第一只线圈同样前翻、左转，把靠身的一边嵌入槽 12（沉边），另一边也吊起；

5）空出槽 11 向后退，将 V 相第一只线圈同样前翻、左转嵌入沉边槽 10。这时，其跨距槽 3 旁边槽 2 的沉边已嵌入，故此线圈可以整嵌，其浮边可嵌入槽 3；

6）退空槽 9，将 U 相第二只线圈（因为偶数线圈不需反向）左翻，靠身的一边嵌入槽 8（沉边），随之浮边嵌入槽 1；

7）退空槽 7 嵌入 W 相线圈 6-11′；

8）退空槽 5 嵌入 V 相线圈 4-9′；

9）最后将原吊起的浮边分别嵌入槽 7 和槽 5。

（三）单层同心式绕组的嵌线

单层同心式绕组包括三相和单相绕组。

1. 单层同心式绕组嵌线的基本规律

2）将对称一组线圈分别嵌入槽 15、17，14、18，13、19；

3）同样把其余两组嵌入相应槽内。

4）垫好层间绝缘后嵌罩极线匝。选槽 3（可任意选一有线端的槽）起绕，取原规格的绝缘导线，预留接线长度后用手将导线嵌绕入槽 3，跨到槽 8 出来，绕够规定匝数（假设每圈为 2 匝）后，在端部过渡到槽 4 绕到槽 7 出来，绕满 2 匝；

5）将从槽 7 出来的导线不剪断，引到另一极（反绕），即从槽 13 进入跨到槽 10，满 2 匝后再绕线圈槽 14、9；

6）按图继续用手绕出罩极线圈组 15、20；16、19；1、22 和 2、21；

7）最后把从槽 21 出来的线尾剪断，与原来起始的槽 3 线头短接后焊牢即可。

（七）单相电扇调速电动机绕组的嵌线

单相电扇调速电动机的绕组比较复杂，它除有主、辅、调速三种绕组外，还采用了 1 型（调速绕组与主绕组同相）和 2 型（调速绕组与辅绕组同相）的安排，而且绕组中有单层、双层以及单双层布线。所以嵌线时要看清楚布线图再进行。一般嵌线是先嵌主绕组，辅绕组和调速绕组的嵌入次序要根据具体的布线情况确定。一般来说，如果线圈是单只绕制，只要按绕组的端部层次，从下至上的先后顺序嵌入即可。但对三速电动机的连绕线圈，因为要绕组对称切换，故嵌线时，除注意线圈极性外，还要按连接线的先后顺序进行嵌线。

调速电动机引出线较多，为了接线方便，连绕线圈的嵌线特作如下规定：主绕组从引出线“U”的线圈起嵌，副绕组由引出线“V”的线圈起嵌，调速绕组则以调速档抽头“1”的线圈起嵌。

1. 单相 8 槽四极电容式双速电扇绕组嵌线

此电机绕组是双层结构布线，主绕组由 4 只线圈，辅绕组和调速绕组分别由 2 只线圈构成，调速绕组与辅绕组同相，故属 L-2 型调速布线。

5）所有层间绝缘处理好后，将辅绕组 V 第一组的小圈嵌入槽 5、9，大圈下层边嵌入槽 4，上层边吊起；

6）将其余线圈组按次序分别整嵌入相应槽中。最后把“吊边”嵌入槽 10 上层。

（2）整圈嵌法　整圈嵌法的线圈组是采用对称嵌线，而且无论是同相或不同相的双层线圈均是分层整嵌布线。下面仍以上例说明嵌线步骤：

1）做好准备工作，将主绕组 U 小圈左翻嵌入槽 2、6；大圈嵌入槽 1、7 下层；

2）主绕组 U 第二线圈组的小圈嵌入与第一组对称的槽 14、18；大圈则嵌入槽 13、19 下层；

3）主绕组 U 第三组嵌入槽 20、24 及槽 19、1 上层；第四组嵌入对称的槽 8、12 及槽 7、13 上层；

4）辅绕组 V 嵌入槽 5、9；槽 4、10 下层；再嵌第二组槽 17、21 及槽 16、22 下层；

5）同样可将其余两组嵌入对应槽中。

（六）罩极电动机绕组的嵌线

罩极电动机有两种绕组型式，一是凸极式，采用集中绕组，每凸极上套一只线圈，辅绕组是一罩极短路环；另一种是隐极式分布绕组，主绕组为正弦布线，辅绕组也是分布式的，但自行短路闭合。下面仅介绍后一种绕组的嵌线。

1. 罩极式绕组嵌线的基本规律

嵌线方法似正弦，主相绕组嵌下面，中间隔垫绝缘层，上层罩极用手绕。

2. 罩极式绕组嵌线工艺程序

下面以 $Z=24$ 槽、$2p=4$ 极典型范例图 2-103 罩极电动机绕组说明嵌绕工艺。

1）准备工作及槽绝缘放置好后，将一组主绕组的小线圈向左翻起，嵌入槽 3、5，再分别将另外中大两线圈嵌入槽 2、6 及槽 1、7；

2. 正弦绕组嵌线工艺程序

下面以 $Z=24$ 槽，$2p=4$ 极，每极线圈数 $S_p=2$ 的正弦绕组范例图 4-23 说明嵌线工艺。

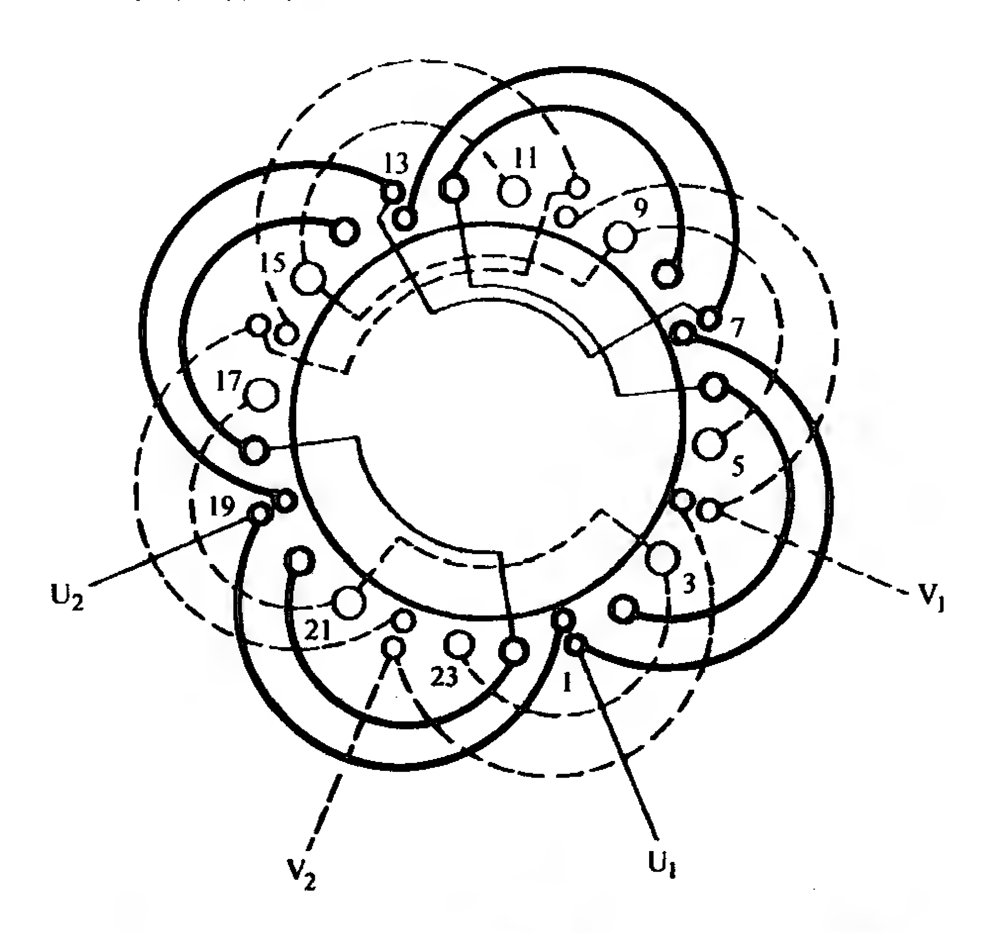


图 4-23 单相正弦绕组 24 槽四极 2/2-A 布线接线图

(1) 交叠式嵌法　正弦绕组的交叠式嵌法与前面的不同，它基本上采用分相嵌线，只在同相的双层线圈中采用交叠形式布线，但不同相的双层线圈仍是分层整嵌布线。

1) 准备工作完毕。将主绕组 U 一组中的小线圈向左翻起，两边分别嵌入槽 2 和槽 6；

2) 再把 U 大圈向左翻起，退后一槽将下层边嵌入槽 1，上层边暂时吊起；

3) 嵌完向后退，将主绕组 U 第二组小圈整嵌进入槽 20、24；大圈也可整嵌，分别嵌入槽 19 下层和槽 1 上层；

4) 同样可将主绕组 U 第三、四组嵌入相应槽中。最后将原吊起的线圈边嵌入槽 7 上层。主绕组嵌线完成。

时还作为防止槽壁损伤的机械保护层。在电压相同条件下，电机槽绝缘不是常数，它随着电机容量的增加所要求的绝缘厚度也增加，这是因为线圈电流增大，电动力也增大，引起线圈振动加剧来考虑的。目前中小型电机常用的槽绝缘材料有 DMD 聚酯薄膜与聚酯纤维复合绝缘纸、M-6020 聚酯薄膜、6520 聚酯薄膜复合绝缘纸以及 DMDM 聚酯薄膜与聚酯纤维复合绝缘纸等 B 级材料。表 4-18 是绕组槽绝缘结构型式与规格。

表 4-18 电动机定子绕组槽绝缘结构及厚度 (mm)

绝缘等级	绝缘材料	定子中心高			
		<120	132~160	180~280	>310
B 级	DMD	0.20~0.25			
	DMD+M	0.20+0.05	0.25+0.05	0.30+0.05	
	DMD+DMD				0.20+0.30
	DMDM	0.20~0.25	0.30	0.35	
E 级	6520	0.20~0.22		0.25~0.27	
	6520+M				0.25+0.15

注：M—聚酯薄膜；D—聚酯纤维纸；6520—聚酯薄膜复合绝缘纸。

(2) 槽绝缘的尺寸与剪裁　槽绝缘有如图 4-11 的两种型式。图 a 是摺边式，它的绝缘纸兼作引槽纸，嵌线时要伸出槽口外，故其宽度较长。图 b 则是槽封式，它只作槽绝缘之用，嵌线时需另加引槽纸，嵌好后抽出，再另用封槽纸作为槽口绝缘。如摺边式槽绝缘是采用多层结构，则只需内层绝缘纸引出槽外；其余槽绝缘纸的宽度按槽封式设计。

1) 槽绝缘纸的宽度(cm)

摺边式　$b_Z = \pi R + 2(h'_s + x)$

槽封式　$b_Z = \pi R + 2h'_s - 0.2$

式中　R——铁心槽底半径，cm；

h'_s——槽截面中的梯形部分高度，cm；

x——凸出槽口的引槽长度，一般取 $x = 0.7 \sim 1.0$cm。

然后用千分卡或精密游标卡测量导线直径。为使测量准确，导线的绝缘层不宜用刀刮。如果线圈由多根并绕，可能用同直径或不同直径的导线并绕，为此，一定要选用多根导线经反复查证才能确认。

（七）线圈尺寸的测量

对于散嵌的电动机绕组，线圈绕制尺寸正确与否与重绕质量有较大关系，故拆线时要测量两个重要参考尺寸：

（1）端距　是指绕组拆卸前，线圈两端部外缘(除去绑扎连接线)的长度。

（2）线圈最小周长　取一个完整的线圈剪断后，选取其中最短的几根导线，记取其平均长度值。

二、绕组接线图及其绘制方法

电动机重绕修理中，绕组接线是技术难点，因此，拆线时如何查线并记录是重绕接线的关键。通常，电机绕组的接线是通过接线图来记录的，常用的接线图有方块图和简化示意图。

（一）电机绕组接线方块图

方块图是以线圈组为单位，反映接线极性和方法的手段，对交流电机绕组接线的记录是既简单、又方便且最有效的表述方法。

1. 方块图的特点

（1）方块图以每线圈组为一方块，画法简单，容易掌握；

（2）方块图主要用于记录线圈组的接线，它不能反映绕组的型式和布线层次；

（3）方块图有两种形式，一是方块圆图，另一是方块平面展开图；其画法原理一样，仅分布形式不同；

（4）方块图最适用于绕组节距无变化的叠式绕组接线记录。

2. 方块的画法形式

方块图的每一方块代表绕组的一个由一至若干只线圈顺接串联而成的线圈组，无论所含线圈多少，都用一方块表示，但目前已有很多改进形式。图 4-1a 是基本画法；图 b 则运用黑白来区

情况。若这样，则每一换向片接线槽中将有四根(正常只有两根)圆铜线接入，即说明此电枢线圈是采用两根并绕的。

换向器式电动机的励磁(定子)绕组则常采用多根并绕，其判别可参考交流电机的方法。

(五) 并联支路数与接法的判别

单相及交直流串励等微电机一般都是一路串联接法，故并联接法多用于较大容量的电动机和直流电动机励磁绕组。

1. 通用的判别方法

此方法适用于六根引出线的三相电机和直流电机励磁绕组。

判别时将与引出线相接的端线剪断，数出导线根数后可由下式推算得出：

$$a = \frac{N_e}{n} = \text{整数}$$

式中 a——并联支路数；

N_e——查数出的导线根数；

n——并绕根数。

如不能满足上式要求，要重新复查。

2. Y 形内接的判别方法

若三相电动机只有三根引出线时，先在接线端找星点，找到后剥开绝缘确认是 Y 形接法，则可用上述通用方法查算绕组的并联支路数。

3. △形内接的判别方法

如在三根引出线的三相电动机中没有星点，则说明是△形接法，这时可查数与引出线连接的导线剪断后的根数，再由下式推算得到：

$$a = \frac{N_e}{2n} = \text{整数}$$

如不满足上式则可能有错，要重新复查。

(六) 测量导线直径

把导线放在酒精灯火焰上烧去绝缘层，用棉布抹去炭化物，

5. 根据凸极查出极数

$$2p = 定子凸极数$$

此方法适用于直流电动机、交流串励电动机以及单相罩极式电动机的极数判别。

（三）绕组节距的确认

绕组的线圈节距可由拆线中直接查得。但必须注意同一绕组中可能有不等节距的线圈(如交叉式、同心式、正弦式等)。另外，直流电动机则还有 y_1、y_2、y、y_K 及 y_Z 等几种节距，这些都应在拆线时分清并记录。

（四）线圈并绕根数和线圈匝数的确认

1. 交流电动机

线圈并绕根数是绕组的重要参数，如其判别错误，将会引起一连串的连锁反应。因为绕组有星形、三角形接法，又可采用并联支路接线，它们都与线圈有连带关系，所以容易出错，要特别注意。

（1）线圈并绕根数的正确判别　将两线圈组间连线的明显进入线圈端剪断，数出的导线根数即是线圈并绕根数。

（2）线圈匝数　线圈匝数与并绕根数有密切关系，可由下式求得：

$$W = \frac{N_y}{n} = 整数$$

式中　W——一只线圈的匝数，匝；

N_y——一只线圈数出的导线根数，根；

n——线圈并绕根数。

如不满足上式则说明判别有误，要重新查实。此外，由于某些型式绕组(如单相正弦绕组等)是采用不等匝线圈的，故一定要按组逐个查点清楚。

2. 换向器式电动机

换向器式电动机的电枢一般不采用多根导线并绕，但对于修理过的小容量直流电枢，也可能会用两根导线代用来并绕的个别

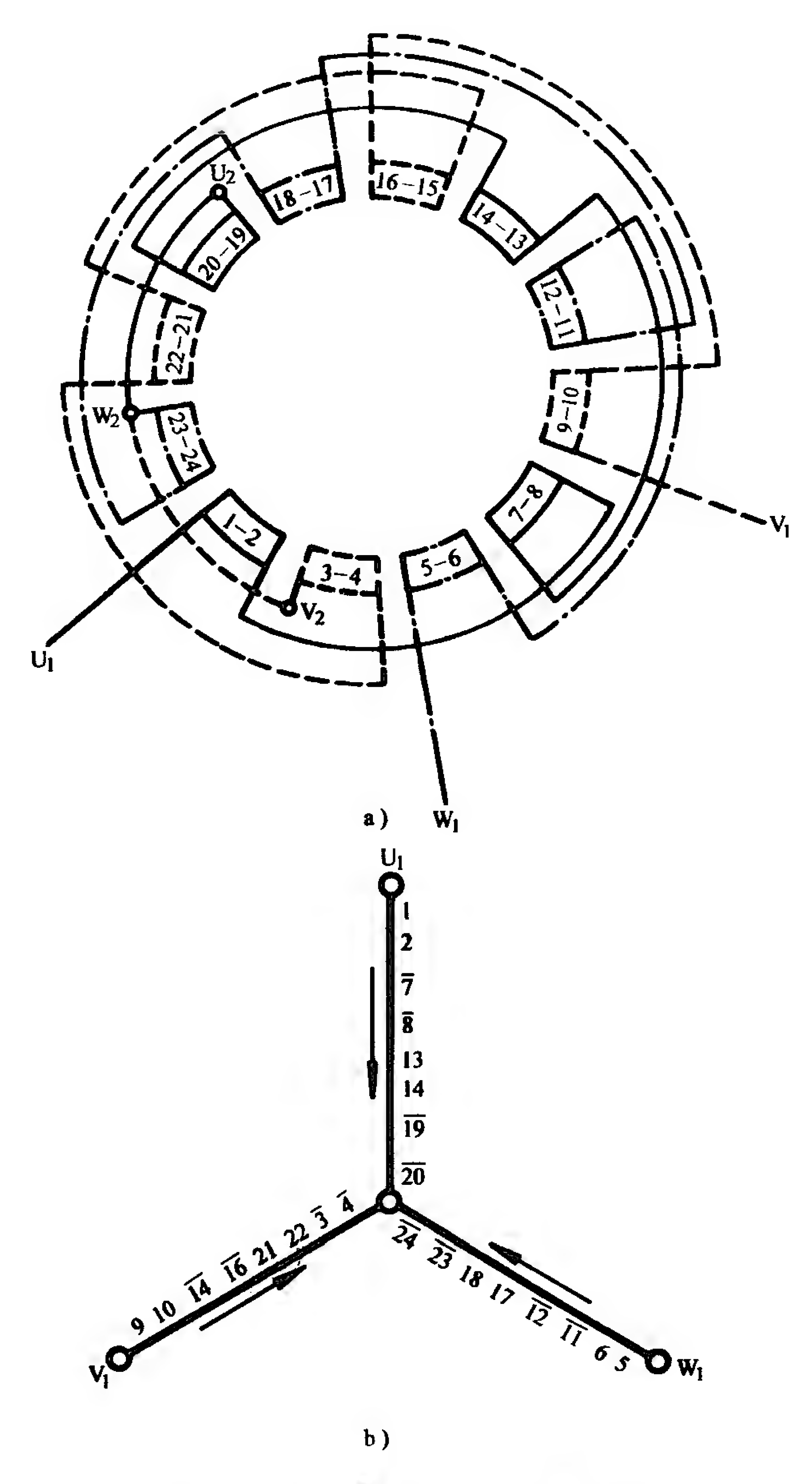


图 4-3　三相 24 槽四极绕组接线方块圆图

a）方块接线圆图　b）简化示意图

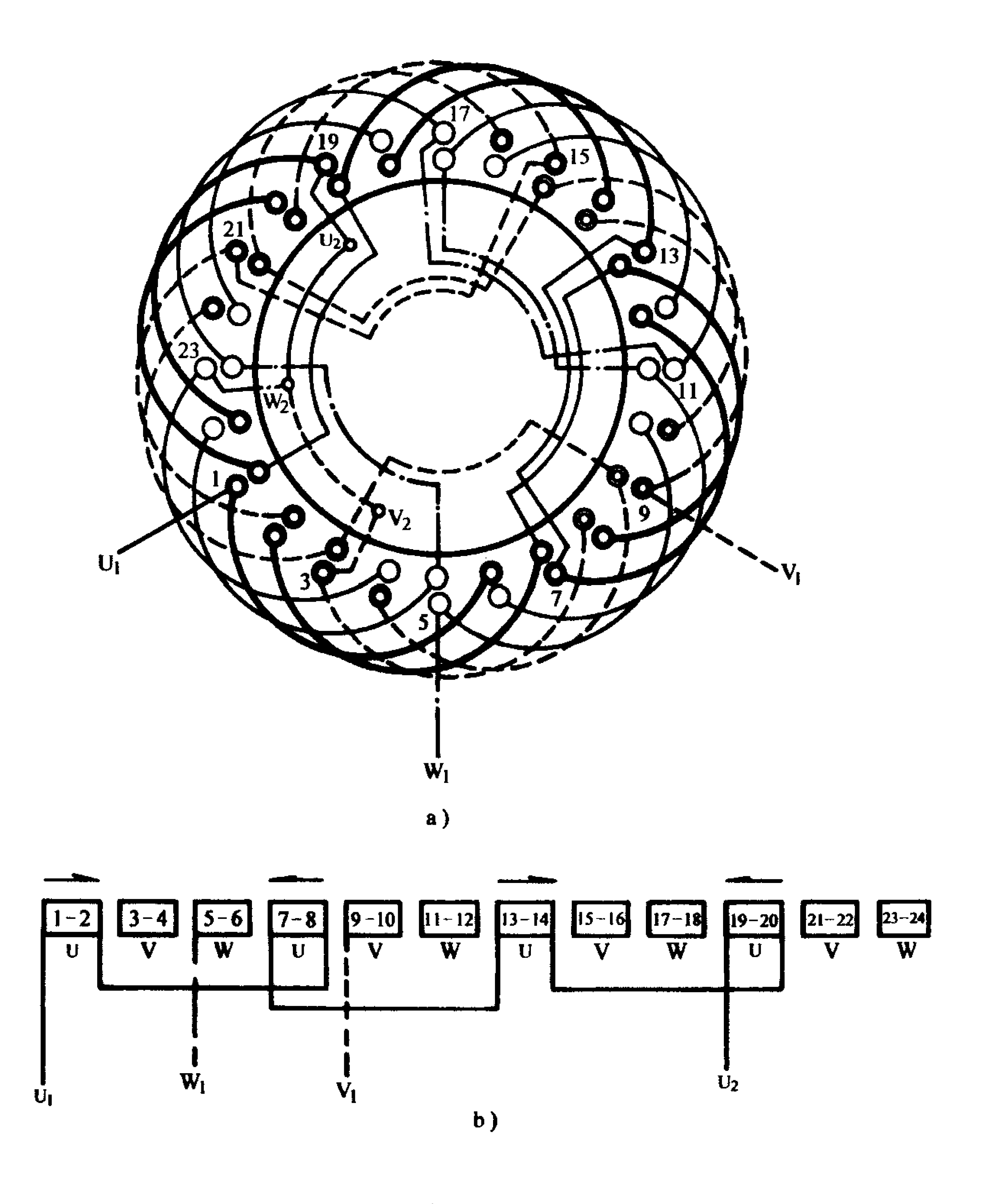


图 4-2　三相 24 槽四极绕组

a）绕组布接线图　b）绕组方块展开图

上面所举仅是接线简单且三相规律相同的例子，但有的电机三相和分组都不相同，每相的查线更为复杂。下面再举一例说明。

图 4-4 是从铭牌标示的 6/4 极 Y/2Y 双速电动机，今拟代实物进行拆线记录并画出方块图。

别线圈组的头、尾或层次，例如，用空白端代表线圈组头端(上层)，黑端代表尾端(下层)；图 c 方块内标示此线圈组包含编号为 4、5、6 三只线圈；图 d 的数字有两种含义，要结合绕组图来判断，如果图中方块的数字是顺序编排，则数字代表该方块序号为“2”；如不是序号，则此数字代表方块所含线圈数；图 e 在方块内画一斜线，上数字代表线圈组编排序号，下数字则是该线圈组含线圈数；图 f 则是方块的简化画法。

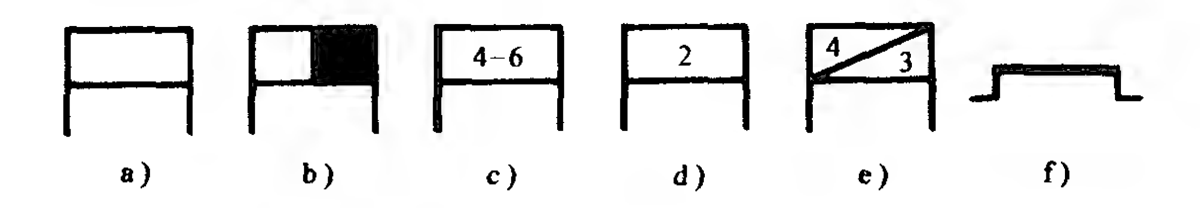


图 4-1　方块图的线圈组表示形式

3. 方块图示例分析

由于无法办到以实物作示例，这里特将绕组布接线的端面图拟作实物电动机进行分析。图 4-2 是三相 24 槽四极双层叠绕组，图中绕组每组 2 圈，每相 4 组，三相共 12 组，因此，画出 12 个方块代表 12 个线圈组，如图 b 所示。本例以线圈下层边所在槽为线圈号，并设 U_1 进线为 1 号槽，根据线圈组编注各方块线圈号(如图 b)。然后根据实物(图 a)，从 U_1 起跟踪查线，并设第 1 组 1-2 方向为正，继续查线得 7-8 反向为负、13-14 为正、19-20 为负。据此将 U 相方块连接便得 U 相绕组的接线，如图 4-2b 所示。

从图 4-2a 可见，W_1 从槽 5、V_1 从槽 9 进入，读者可自行画出 W 相和 V 相绕组的方块连接图。这就是三相绕组接线方块图的展开画法。如果把平面展开的方块分布在圆周上，便得出绕组接线方块圆图，如图 4-3 所示。

方块图是根据电机绕组实物的接线绘制而成，是绕组拆线时的实际记录，也是电机重绕接线的依据，所以必须逐相认真查线，查一组画一方块，并标注线圈号及接线方向。

$$\frac{Zu}{K} \neq 整数$$

(二）极数的判别

1. 根据电动机铭牌查算

(1) 从型号中读出　一般标准系列产品交流电动机的型号中均有标示，如 Y100L-2 中的“2”即表示二极。

(2) 由转速推算

$$2p = \frac{120f}{n} \quad (取整)$$

式中　n——电动机铭牌转速，r/min。

以上方法适用于交流三相、单相电动机。

2. 根据线圈节距推算

$$2p = \frac{Z}{y} \quad (取整)$$

式中　Z——电枢绕组槽数，槽；

y——线圈节距，槽。

此法适用于单相、三相交流绕组，也适用于换向器式电枢绕组。

3. 根据总线圈组数推算

显极　$$2p = \frac{u}{3}$$

庶极　$$2p = \frac{2u}{3}$$

式中　u——三相绕组总线圈组数。

此法仅适用于判别三相电动机绕组。

4. 根据一相线圈组数推算

显极　$$2p = u_m$$

庶极　$$2p = 2u_m$$

式中　u_m——单相电动机主绕组或三相电动机一相绕组的线圈组数。

此方法适用于判别单相或三相交流电动机。

表 4-14　换向器式交直流串励电动机重绕数据记录表

修理编号：____

型　号		功率	W	转速	r/min	出厂编号	
电压	V	电机用途		负载率		厂家	
电流	A	绝缘等级				出厂日期	
转子铁心/mm	外径		叠厚		槽形及尺寸		
	内径		轭高				
	齿宽		换向片数				
	槽数						
定子铁心/mm	外径		叠厚		接线图		
	内径		极宽				
	轭高		极数				
转子绕组	绕组型式	(单叠)	每槽元件数				
	线圈数		元件匝数				
	槽节距		线规				
	焊头位置	(1号线偏对向左1片半接入)			备注：		
定子绕组	线圈数		接法				
	线圈匝数		线规				
试验	转子绝缘	MΩ	转子对地耐压(1min)	kV			
	定子绝缘	MΩ	定子对地耐压(1min)	kV			
完工日期		修理者		检验员		日期	

表 4-13　单相电动机重绕数据记录表　修理编号：______

型号			功率	kW	转速	r/min	绝缘等级	
电压		V	电流	A	型式		出厂编号	
电容器容量		μF	电容耐压	V	厂家		出厂日期	
定子铁心/mm	外径		齿宽		槽形尺寸			
	内径		轭高					
	叠厚		槽数					
绕组型式		节距槽号	线圈匝数	线规	绕组接线图			
主绕组								
辅绕组								
调速绕组					试验数据			
备注					主绕组对地绝缘			MΩ
					辅(调)绕组对地绝缘			MΩ
					主、辅、调相间最低绝缘			MΩ
					耐压(1 min)			kV
					空载试验电压			V
					空载试验电流			A
完工日期			修理者		检验员		日期	

3. 交直流两用串励电动机重绕数据记录表

表 4-14 是用于交直流串励电动机绕组数据记录。表中“每槽元件数”是指每槽所占有的单元件数，它等于：

$$u = \frac{K}{Z} = \text{整数}$$

“焊头位置”是以基准槽(通常以拆线记录槽定为 1 号基准槽)全部引线接入换向器的具体位置记录。因转子装配结构有两种，

表 4-12 三相电动机(定、转子)绕组重绕数据记录表

修理编号：____

型号				功率	(kW)	转速	r/min
电压	V	电流	A	绝缘等级		厂家	
接法				出厂编号		出厂日期	

定子铁心/mm	外径		齿宽	
	内径		轭高	
	叠厚		定子槽数	
转子外径		mm	转子槽数	

槽形及尺寸

定、转子绕组数据	型式	双层叠式	布线	显、庶
	节距		线圈组数	
	每组元件数		元件匝数	
	线径	mm	并绕根数	
	并联支路数			
线模尺寸/mm	形式	梭形、鼓形	端距	
	直边长		宽度	
	平均匝长			

备注

绝缘电阻	对地	MΩ	一分钟耐压	对地	kV
	相间	MΩ		相间	kV
空载试验	电压	V	每相电阻	U相	Ω
	电流	A		V相	Ω
				W相	Ω
转子开路电压		V	短路试验电压		V

完工日期		修理者		检验员		日期	

头”相接。

2）按一相线圈组数（u_m）判别

显极 $$u_m = 2p$$

庶极 $$u_m = p$$

3）按绕组总线圈组数（u）判别　若一台电机总组数 u = 奇数，则此绕组必定是庶极式布线。但此规律不可逆推。

2. 换向器式电枢绕组的结构型式判别　换向器式电枢绕组全部采用双层布线，它与交流绕组型式完全不同，没有显极和庶极之分，其判别的绕组型式有：

（1）单叠绕组判别　其主要判别特征是元件两引接线接在相邻两换向片上。即换向片节距

$$y_K = \pm 1$$

一般二极的直流电动机和交直流串励电动机必定是这种型式。

（2）单波绕组判别　它与单叠绕组的主要区别在于换向片节距，即

$$y_K = \frac{K \mp 1}{p}$$

此外，它还应满足下式要求：

$$\frac{Zu}{K} = \text{整数}$$

式中　y_K——换向片节距，片；

K——换向片数；

p——磁极对数；

Z——转子实槽数；

u——每槽元件数。

（3）死波绕组　它的节距与波绕组相同，即

$$y_K = \frac{K \mp 1}{p}$$

但它具有死元件，故

荐采用前者的记录型式确定“正对”或“借偏”，具体方法可参看后面的内容介绍。

“线圈数”实指单元件数，若转子由 u 根导线并绕，则线圈数 $S=uZ$。

4. 直流电机重绕数据记录

表 4-15 中的“电机型式”是指接线方式，如串励、并励、他励、复励等。“定子内径”是指相对主极内表面对应中线间的距离。“轭高”则实为直流电机导磁体外壳厚度。“极宽”是磁极极身径向尺寸，它不包括极靴尺寸。“极长”是指磁极极身的轴向尺寸。如要增加记录内容或作图说明等可记在备注栏中。

数据记录除铭牌参数可以先记，其余数据则要在拆线过程中边拆边记。由于绕组的结构和接线比较复杂，某些数据还要结合绕组型式、接线方法等反复验证才能确定。所以，修理电机时必须先对各种绕组的构成、特征有一定的概念和认识，才能真正理解和掌握。下面就记录中的几个较难掌握的项目判别方法进行介绍。

（一）绕组的结构型式判别

绕组型式是根据构成绕组的特征确定的，只有正确判别绕组的结构才能正确填写。但不同类型(如交流、直流)绕组的结构各有不同的特点。

1. 交流电动机绕组的结构型式主要判别两项：

（1）单层与双层　它的判别条件是：

绕组总线圈数 = 槽数→双层绕组；

绕组总线圈数 = $\frac{1}{2}$槽数→单层绕组。

（2）显极式布线与庶极式布线　它的判别条件有：

1）按接线形式判别

显极式　同相相邻两组线圈的极性相反，即接线是“尾与尾”或“头与头”相接。

庶极式　同相相邻两组线圈的极性相同，即接线是“尾与

故将槽中心线与换向器云母片中心线重合者为 A 类结构；槽中心线与换向片中心线重合者为 B 类结构。记录时也应注明。另外，基准槽元件接入换向器位置有两种表示形式：一是以每槽所占换向片 n 片的中心线与基准槽中心线相对位置确定；另一是以换入 1 号换向片中心与基准槽中心线相对位置确定。本书则推

表 4-15　直流电机重绕数据记录表　　修理编号：____

<table>
<tr><td colspan="2">型　号</td><td></td><td>功　率</td><td>kW</td><td colspan="2">转速</td><td>r/min</td><td>电机型式</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">电压</td><td>V</td><td>电流</td><td>A</td><td colspan="2">绝缘等级</td><td></td><td>厂家</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">励磁电压</td><td>V</td><td>励磁电流</td><td>A</td><td colspan="2">出厂日期</td><td></td><td>出厂编号</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">定子主极</td><td>内径</td><td>mm</td><td>轭高</td><td>mm</td><td colspan="2">补极线规</td><td></td><td>补极匝数</td><td></td></tr>
<tr><td>极宽</td><td>mm</td><td>极长</td><td>mm</td><td colspan="5" rowspan="4">槽形及尺寸</td></tr>
<tr><td>极高</td><td>mm</td><td>极数</td><td></td></tr>
<tr><td>并励线规</td><td></td><td>并励每极匝数</td><td></td></tr>
<tr><td>串励线规</td><td></td><td>串励每极匝数</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">换向极</td><td>极宽</td><td>mm</td><td>极长</td><td>mm</td><td colspan="5" rowspan="10">备注：（元件连接图、实用接线图及其他如死波绕组的死元件槽位槽号等）</td></tr>
<tr><td>极高</td><td>mm</td><td>极数</td><td></td></tr>
<tr><td>线规</td><td></td><td>每极匝数</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="7">转子电枢</td><td>外径</td><td>mm</td><td>总长</td><td>mm</td></tr>
<tr><td>轭高</td><td>mm</td><td>实铁长</td><td>mm</td></tr>
<tr><td>齿宽</td><td>mm</td><td>槽数</td><td></td></tr>
<tr><td>换向片数</td><td></td><td>绕组型式</td><td></td></tr>
<tr><td>元件匝数</td><td></td><td>线圈数</td><td></td></tr>
<tr><td>每槽边数</td><td></td><td>线规</td><td></td></tr>
<tr><td>槽节距</td><td></td><td>焊头位置</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">绝缘材料</td><td>槽绝缘</td><td></td><td>外覆绝缘</td><td></td><td rowspan="2">绝缘试验</td><td>定子绝缘</td><td>MΩ</td><td>定子耐压</td><td>kV</td></tr>
<tr><td>磁极绝缘</td><td></td><td></td><td></td><td>转子绝缘</td><td>MΩ</td><td>转子耐压</td><td>kV</td></tr>
<tr><td colspan="2">完工日期</td><td></td><td>修理者</td><td></td><td colspan="2">检验员</td><td></td><td>日期</td><td></td></tr>
</table>

选伸出铁心长度 $l=1.3\text{cm}$

$$L_Z=L+2l=9.5+2\times1.3=12.1\ \text{cm}$$

（5）模心端部弧线半径

大节距模心半径：

$$R_8=0.25\left(\frac{A_8^2}{L_{D8}-L_Z}+L_{D8}-L_Z\right)$$

$$=0.25\times\left(\frac{7.78^2}{17.78-12.1}+17.78-12.1\right)=4.08\ \text{cm}$$

小节距模心半径：

$$R_7=0.25\left(\frac{A_7^2}{L_{D7}-L_Z}+L_{D7}-L_Z\right)$$

$$=0.25\times\left(\frac{6.74^2}{16.67-12.1}+16.67-12.1\right)=3.63\text{cm}$$

（6）模心厚度

$H=(0.4\sim0.58)h_s=(0.4\sim0.58)\times1.52=0.608\sim0.881\ \text{cm}$

取 $H=0.8\ \text{cm}$

二、线模制作

1. 材料与工具

（1）模心的选材　制作线模的材料有硬木板、杉木板、塑料板等。用硬木制成的线模比较容易变形，变形后也难以修整矫正，但质地较硬而经久耐用。所以要因地制宜选取当地不易变形的木料来制作，并要求不要有疤节，纹理要均匀且充分干透的板材。杉木板的质地松软，容易加工，不易变形，即使稍有变形也容易修正，虽然耐用性较差，但作为一般修理而非批量生产时，也是常用选材之一。塑料板加工较难，有时不能满足厚度要求，但不易变形且耐用，是作为批量生产时选用制作模心的材料。

（2）制作线模应准备的工具　制作线模所需的工具有钢锯、木工刨、电钻、砂布、直尺、游标卡尺和圆规等。

2. 制作模心的方法

1）将选好的板材截出长度大于线模总长的一段；

2）将一面刨平后，另一面刨到所需厚度，要求平面光滑、

式中　L_D——大一级节距同心线圈模心长度，cm。

（8）检验　模心制好后可用拆线时留下的最小匝长线段环绕模心检验，不应相差太大；也可用一段导线按模心绕成一匝线圈，嵌入定子节距槽中进行检验。注意观察其长度在绕线后是否会碰到端盖，如不适合，只能改变总长以调整。

2. 梭形线模的计算

梭形线模常用于双层叠绕组，也用于单层叠式绕组，其形状如图 4-9b 所示。模心的设计基本上与鼓形线模相同，但线模宽度 A (cm)由下式确定：

$$A = \frac{\pi(D + h_s)y}{Z}$$

【例 4-1】 重绕一台电动机，$Z = 36$ 槽，$2p = 4$ 极；定子内径 $D = 10.4$cm，铁心长 $L = 9.5$cm，槽深 $h_s = 1.52$cm，槽中部宽度 $b_p = 0.54$cm，试求单层交叉式绕组 $y_1 = 8$ (1 ~ 9)，$y_2 = 8$ (2 ~ 10)，$y_3 = 7$ (18 ~ 11)的绕线模。

因是小电机，选用鼓形线模。

（1）槽中部齿距

$$t_p = \frac{\pi(D + h_s)}{Z} = \frac{3.14(10.4 + 1.52)}{36} = 1.04\text{cm}$$

（2）模心宽度　大节距($y = 8$)线圈模宽

$$A_8 = t_p y_1 - b_p = 1.04 \times 8 - 0.54 = 7.78\text{cm}$$

小节距($y = 7$)线圈模宽

$$A_7 = t_p y_3 - b_p = 1.04 \times 7 - 0.54 = 6.74\text{cm}$$

（3）模心长度

选取系数 $K_L = 1.06$

大节距模心长度

$$L_{D8} = L + K_L A_8 = 9.5 + 1.06 \times 7.78 = 17.75\text{cm}$$

小节距模心长度

$$L_{D7} = L_{D8} - 2b_p = 17.75 - 2 \times 0.54 = 16.67\text{cm}$$

（4）小节距模心直线边长

表 4-16　电动机线模总长经验系数 K_L

绕组型式	单层链式	单层同心式	单层交叉式	2～6 极 双层绕组	8～10 极 双层绕组
K_L	1.22～1.68	0.60～0.72	0.86～1.22	0.98～1.16	1.1～1.4

（3）直线边长(cm)

$$L_Z = L + 2l$$

式中　l——伸出槽口长度，由表 4-17 选取，一般功率大、极数少者取大值。

表 4-17　电机模心直边伸长尺寸　　(mm)

电机中心高	≤112	132～200	225～280	≥315
l	10～15	13～16	18～20	25

（4）模心端部弧线半径(cm)

$$R = 0.25\left(\frac{A^2}{L_D - L_Z} + L_D - L_Z\right)$$

（5）模心厚度(cm)

单层绕组　$H = (0.4 \sim 0.58)h_s$

双层绕组　$H = (0.37 \sim 0.41)h_s$

鼓形线模的适用性广，既可用于单层同心式、交叉式、链式等小型电机，也可用于大跨距的双层绕组。

（6）同心线圈的线模宽度　采用同心式线圈时，不同节距线圈的模心宽度(cm)可按下式分别计算：

$$A_y = t_p y - b_p$$

式中　A_y——节距为 y 时的模心宽度，cm；

　　y——同心线圈的节距，槽。

（7）同心线圈模心总长　同心线圈最大线模长度由前述公式计算，其余线圈模心长度(cm)由下式确定：

$$L_{Dy} = L_D - 2b_p$$

2）线模装入绕线机后固定好，检查并调整计数器复零；

3）从放线架抽出导线，平行排列(并绕时)穿过浸蜡毛毡压线板，经左边模夹板引出线槽(见图 5-3)，预留一定引接长度后，缠绕固定在左边轴(即俗称的“左手挂线”)上；

4）将预先准备好的扎线(棉绳，长度约 10～15cm)嵌入模夹板的扎线缝；

5）绕线时除微电机的小线圈可用绕线机摇把操作外，一般绕制 ϕ0.6mm 以上导线的线圈均不用摇把操作，而用一手盘转线模，另一手辅助盘转外，还负责把导线排列整齐；

6）绕足线圈匝数后将扎线绑好线圈，则第一个线圈完成。

7）如系连绕，则不要把导线剪断，将导线通过隔板的过线槽，在第二个模心上先绕 1 圈(匝)，然后再放扎线，绕足匝数(包括先绕的 1 匝)后，将线圈扎好(不绑第 1 匝)，再过模，如此类推。绕够线圈后，留足接线长度(为了区别于“挂线端”宜短些或套上蜡管作记号)，剪断尾线；

8）将线模从绕线机上卸下，取出线圈后再进行第二组的绕线；

9）如果一组线圈是不等节距时，应将最小节距线圈列为第 1 只，然后顺次排列绕线。

四、绝缘件制作

1. 电机绝缘等级

小型电动机的绝缘结构主要包括槽绝缘、层间绝缘、端部绝缘、槽口绝缘以及接线头的绝缘等。而各部分绝缘是根据要求的绝缘等级，用相应级别绝缘材料及设计成所需尺寸来满足的。对于中小型电动机，目前普遍采用 E、B 两种绝缘，E 级多用于 JO2 系列老产品，而 Y 系列等新产品已经改用 B 级绝缘。所以，对于采用 A 级绝缘电机的修理，也应改用 B 级绝缘，进行提高运行性能的重绕。

2. 槽绝缘

(1）槽绝缘结构　槽绝缘是线圈与铁心电隔离的主绝缘，同

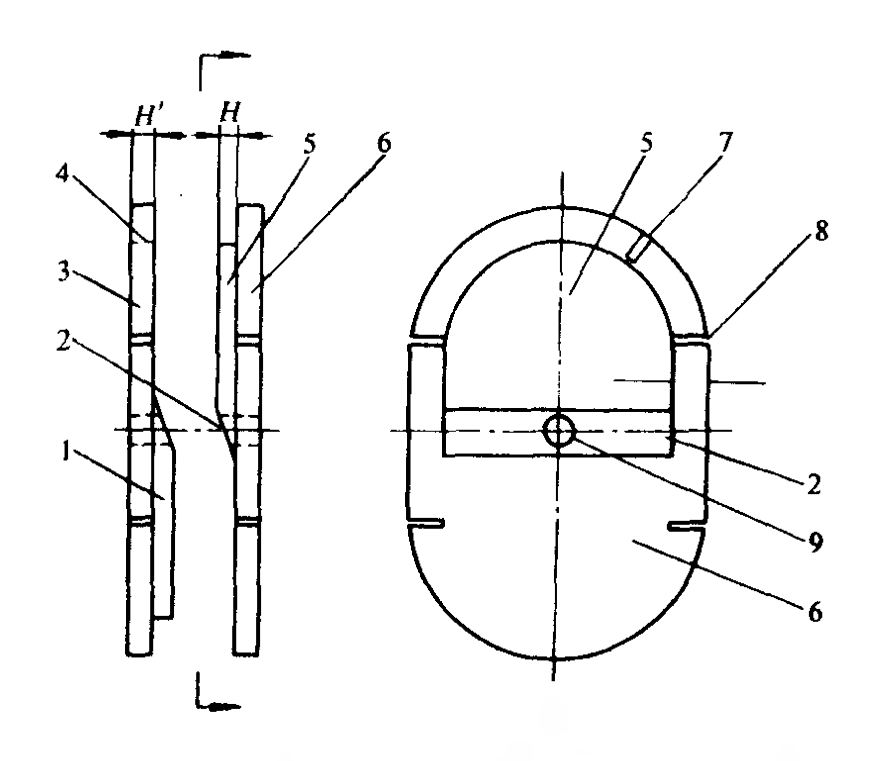


图 4-10 可脱卸线模

1—模心下截 2—模心斜口 3—夹板 1 4—过线槽
5—模心上截 6—夹板 2 7—挂线槽
8—扎线缝 9—绕线机轴孔

开(注意不要移动下面的模心)，再用钉将模心钉牢即可。

以上制作的线模属于专用线模，有利于批量生产和频次较多的电机修理之用。如果修理的电机规格很多，采用专用线模就不经济，故宜采用多用线模或万用绕线模。

三、线圈绕制工艺和要点

线圈的绕制一般在绕线机上进行。如果只修个别电动机，简捷的方法是在一块木板上按设计好的模心尺寸，在直线边和模心端点用六根去掉钉头的铁针定位，每根铁钉套上套管，再用手工进行绕制线圈。

线圈绕制的形式有两种：一种是一相线圈连绕，所用线模数量大，适用于大规模制造，也用于单层链式电动机修理；另一种是目前修理中普遍采用的极相组连绕。线圈绕制的工序如下：

1）取出线材，检查牌号、线径和并绕根数应正确无误后才可装上放线架；

厚薄均匀；

3）顺木纹刨出木板直线边，要求此边与板面成直角；

4）以直线边为基准在板上定出中心点，画出垂直中心线及另一边线；

5）沿线刨到线模宽度；

6）以中心线为准画出直线边长和模心总长；

7）用圆规在中心线上取半径 R，画出模长两端弧线；

8）用钢(木)锯(留线裕量)锯出弧线端面；

9）先用粗锉刀修正，再用砂布打磨光滑，但注意不要磨去棱角；

10）钻出绕线机中心孔，则模心制成。

若是同心模或连绕模则要做多块。

3. 模夹板制作

模夹板是夹住模心进行绕线的线模部件，其形状可做成八角棱形，或随模心形状。模夹板尺寸必须大于模心，每边放大尺寸视电机而定，一般小电机 $a=10\sim15$mm，较大的电机 $a=20\sim30$mm。模夹板使用时要承受挤压力，所以要比模心略厚，一般取 $H'=12\sim20$mm。对于多联模的间夹板可以稍薄，一般视线模大小而取 $H'=7\sim10$mm。

模夹板的材料和制作工艺可参考模心制作。

4. 可脱卸线模

上述线模的制作简单，但线圈绕好后要从模中取出线圈不够方便。为了便于线圈脱模，可改制成如图 4-10 的可脱卸线模。其制作工艺如下：

1）将模心平摆在一片夹板上的中心位置，用钉在半截模心上钉牢(注意不要钉在如图 4-10 的斜口段位置)；

2）在模心中间位置画出两条斜口线，并按斜口线把模心锯断(注意不要伤及夹板)；

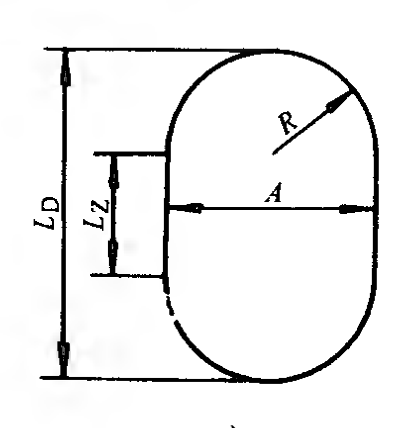
3）将锯落的半截模心放回原位，另一块夹板对齐叠上；

4）把整套线模反转放平，把上面已钉好模心的夹板轻轻拿

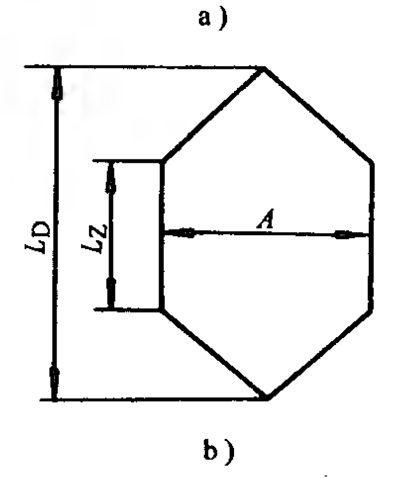
第四节　线圈绕制和绝缘裁剪

一、散嵌绕组线模设计

在电机修理中，散嵌软绕组是重绕的主要工序，绕组、线圈常用的绕线模心形状如图 4-9 所示，它适用于中小型交流电动机和直流电枢绕组。下面介绍其设计方法。



a）



b）

图 4-9　电机软绕组常用绕线模心

a）鼓形线模　b）梭形线模

1. 鼓形线模计算

鼓形绕线模心如图 4-9a 所示，各部尺寸确定如下：

（1）模心宽度(cm)

$$A = t_p y - b_p$$

$$t_p = \frac{\pi(D + h_s)}{Z}$$

式中　t_p——槽中部齿距；

D——定子铁心内径或转子铁心外径，cm;

h_s——铁心槽深，cm;

Z——槽数；

b_p——铁心槽的中部宽度，cm;

y——线圈节距，槽。

（2）模心总长(cm)

$$L_D = L'_D - 2b_p$$

式中　L'_D——电机原绕组端部外缘实测距离，cm。

如果无原绕组实测数据，则由下式估算(cm)：

$$L_D = L + K_L A$$

式中　L——铁心叠厚，cm;

K_L——经验系数，由表 4-16 选取。

$$6W—(19—21)—\overline{24}\ —\bullet—12\ —\overline{(7—9)}—W_0$$
$$\quad\quad\quad | $$
$$4W$$

3 圈 + 1 圈 = 1 圈 + 3 圈

（6）核查　从接线示意记录可见，双速绕组每相分两变极组，核查要求每相变极组串联的线圈数必须相等，否则有误，重新查实改正。核查形式如 W 相所示。

（7）方块图标示极性和相号　根据三相查线记录的结果，在方块下方标注相号，并把各组线圈的极性用箭头形式标示在相应方块的上方，如图 4-5 所示。

（8）方块连接　方块连接相当于绕组接线，也是逐相分别进行。连接时各方块要按接线示意记录之先后进行，而各方块连接方向必须与箭头所指一致。最后把三相尾端 U_0、V_0、W_0 连接成星点，便得图 4-5 的接线展开方块图。重绕时便可依此图接线。

（二）绕组接线简化示意图

绕组接线简化示意图是用脱离绕组的形态而以抽象示意的型式来表述电机绕组接线。如图 4-3b 就是这种形式的示例，它用最简洁的图形表述复杂的绕组接线，故常用于变极电动机的接线记录。示意图常用一路 Y 形或一路△形作为基本图形，辅以线圈号并借助每相中间抽头使接线变换来改变一半线圈的极性，从而达到变换绕组极数的目的。常用的基本图形如图 4-6 所示。其中 2U 中的“2”代表多极数；“1”则是少极数。

简化接线示意图的画法中最关键的是线圈号的安排，它是由变极绕组方案设计确定的，但作为重绕修理则是根据跟踪查线记录绘出，所以其跟踪查线步骤与前述完全相同。例如将图 4-4 的 24 槽 6/4 极 Y/2Y 绕组绘制简化接线图时，因其基本图形是 Y 形，故只要将三相绕组的跟踪记录绘成如图 4-6a 的图形，并把线圈组分拆为线圈，标示于各相变极组内，即成如图 4-7 的简化接线示意图。

重绕时可按此进行接线，但图中是以线圈为单位标示的，线圈则以下层边所在槽的线圈号，上方“-”号表示反向连接，接线次序则依图中箭头指示，并把连续的线圈号归并为线圈组再连接。

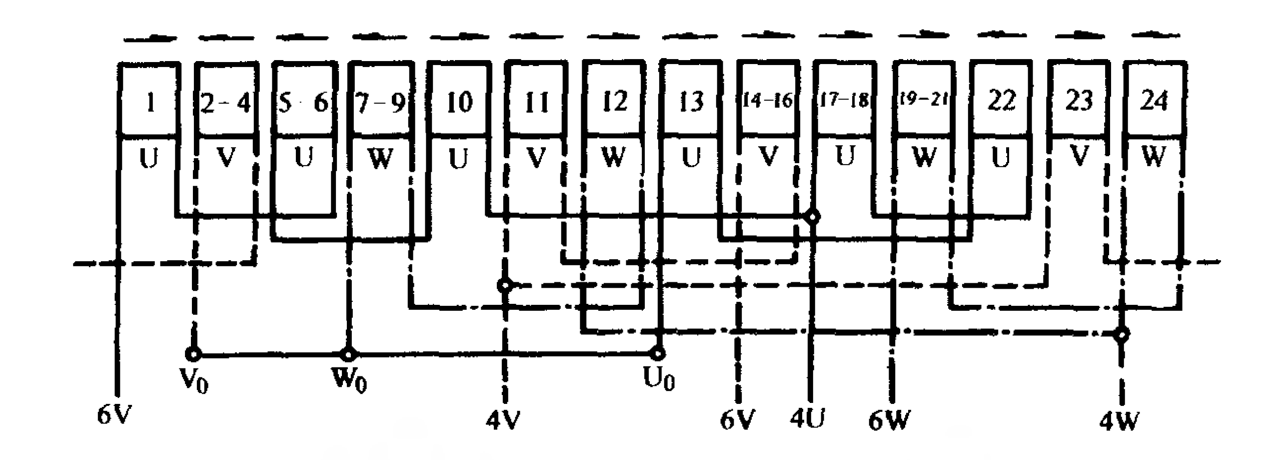


图 4-5　24 槽 6/4 极 Y/2Y 双速绕组简化接线(展开)图

(4) 核查编号　先复查方块总数必须等于线圈组数。然后将全部方块中的线圈数相加，其总和($\sum S$)应等于槽数(Z)，即

$$\sum S = Z$$

否则要重新复查编号；

(5) 跟踪查线　绕组查线要逐相进行，每相则从多极数接入电源的引出线开始查起

1) U 相跟踪记录　如从电机实物查线时，应用白粉笔涂在 U 相线圈端部(或槽口)及连接线做标记，可避免查错。U 相从 6U 查起经几组线圈最后到 U 相尾端 U_0 止，其中在线圈组 10 与 (17-18)之间有一抽头 4U 要画出并标示；另外对反方向连接的线圈组也要在该组号上方用“－”标示。最后整理得 U 相跟踪的接线示意记录如下：

$$6U—1—\overline{(5—6)}—10 \underset{\displaystyle 4U}{—\!\!\bullet\!\!—} (17—18)—\overline{22}—\overline{13}—U_0$$

2) V 相跟踪记录　跟踪查线时用兰色粉笔涂抹线圈端部及连接线以便区别。同理可得 V 相记录：

$$6V—(14—16)—\overline{11} \underset{\displaystyle 4V}{—\!\!\bullet\!\!—} 23—\overline{(2—4)}—V_0$$

3) W 相跟踪记录　W 相用红色粉笔涂色，同理可得 W 相记录：

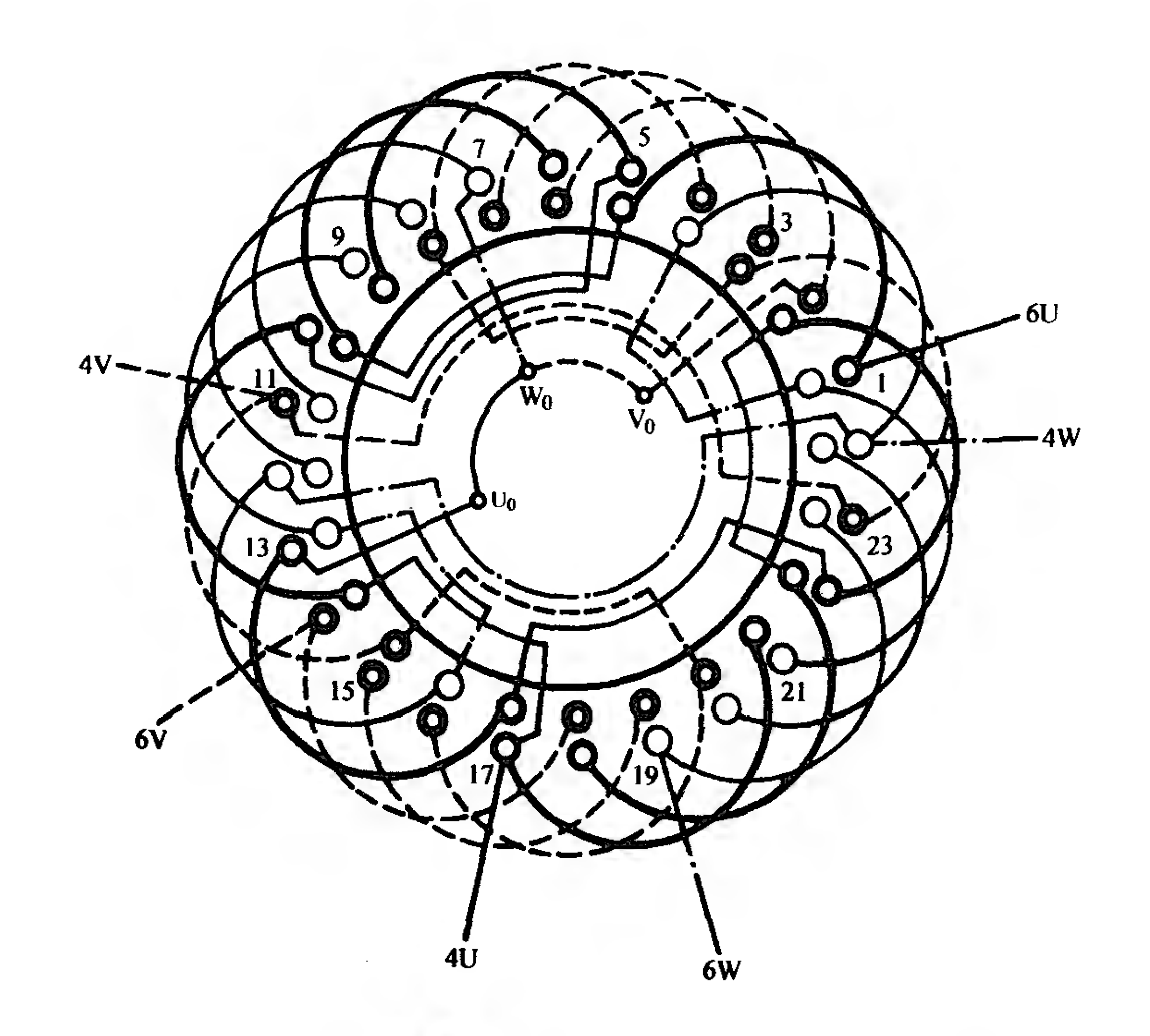


图 4-4　24 槽 6/4 极 Y/2Y 双速电动机绕组

双速绕组属于三相电动机中的特殊型式绕组，一种规格可有多种变极方案的绕组，如果不做好接线记录就无法重绕修复。查线时先从接线盒中查找引出线及标号，不要让其脱落，然后从多极数电源进入端逐相查线并画出接线图。

绘制接线方块(展开)图的步骤如下：

(1) 从电机绕组(图)上找出 U 相引出线 6U、4U；

(2) 查多极数电源端 6U 出线槽位确定为起始槽，如本例是从该槽下层引出，则以下层槽号为线圈 1 号，并在定子铁心上编写槽号；

(3) 画方块　从电机绕组(图)上查分组，每组画一方块并标注槽号。本例查得共有 14 方块，标注线圈号(即线圈下层槽号)，如图 4-5 所示；

普遍应用的先进方法。它的工效高，而且大大减轻了劳动强度。操作时先将绕组一端导线平槽口截断，然后将另一端的线圈端部用手锤敲击打松，再进行加热；然后利用电动或手动拆线机把线圈从槽中逐只抽拉出来。

二、铁心清理与修整

1. 槽内残存绝缘物的清理

绕组拆除后，由于绝缘漆的粘结作用，使绝缘物残留在槽内，这时要用清槽铲刀或钢锯片清刮槽内，最后再用钢丝通条在槽中推拉，将残余物清刷干净。

清槽铲刀如图 4-8 所示，它可用废旧的圆锉改制。先把它放在砂轮上打去部分锉纹，使其失去锉削功能，然后将端部磨成如图形状。但磨制时要边磨边冷却，勿使其退火变软。

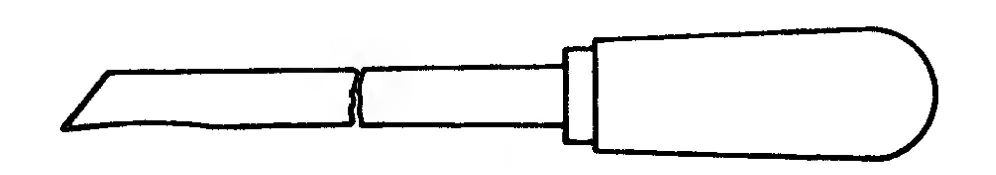


图 4-8　清槽铲刀

2. 铁心冲片位移的修整

拆线时可能会造成槽内或槽口的槽齿钢片变形或位移，这时将会导致嵌线困难或槽绝缘损伤，故必须进行处理。通常可用一铜板压在凸出部位，再用手锤轻敲其背，使钢片复位。对于槽口不齐也可同样处理。如果铁心第一片冲片损坏过于严重，它的存在已无实际意义时，应把铁心扣片松开，将其卸弃，然后再把扣片压紧。这样弃去的钢片不宜过多，否则将使铁心损耗增加。

如果槽内凸出的钢片无法复位或因短路造成烧结点时，可用钢凿凿去或用锉刀修平，然后用压缩空气吹扫干净，再涂上一层稀释的绝缘漆，经烘干后才能使用。

第三节　绕组拆除与清理

一、拆除绕组的简单工具与方法

对于开口槽电机绕组如为硬绕组，它的拆除比较简单，只要将槽楔退出便可将线圈边退出。但由于线圈是上、下层布线，退出要逐渐进行，当退到线圈节距后就可把整个线圈取出。取出的硬线圈一般是以原线圈重包修复，故要尽量减少变形。但电机修理工作更多的是散嵌软绕组的重绕，这是本书的重点介绍内容。

绕组拆除方法很多，过去曾采用火烧法、化学溶剂法。因其对电机铁心材质及操作人体有损害，目前已极少采用。现在常用的方法有：

（1）人工挑拆法　在端部将线圈剪断，退出槽楔(或加热)后将导线从一端开始逐根从槽口挑拉出来；拆到较松动时，用钢丝钳把余下的导线从端面槽口拉出。

这是目前最简单的原始拆线方法，其劳动强度大且工效低。若其他方法拆线受阻时，可作为辅助补救的权宜之计。

（2）冲压拆线法　用单面平凿沿铁心端面把绕组出线一端的线圈端部，平槽口凿断(保留整个端部作记录之用)，将定子加热到约 160～200℃，将定子沿边架起，使被凿面向上，用冲压棒对准槽中导线，以锤敲击冲击棒顶端，使线圈从另一端退出。操作时要顺次循环冲压，最后便将整个线圈退出槽外。

这种方法特别适用于铁心较短(如吊扇)的电机拆线，是目前电机修理行业中应用较普遍的手工操作拆线。其优点是劳动强度和拆线工效都优于前者，但操作时经验不足或工具磨制不当时容易损坏铁心的硅钢片。

冲压棒是用一根矩形截面的钢材，磨成断面近似于被拆电机槽形，而且略小于槽截面的棒形工具，其长度应长于铁心。

（3）机械抽拉拆线法　它是利用机械拆除电机绕组，是近年

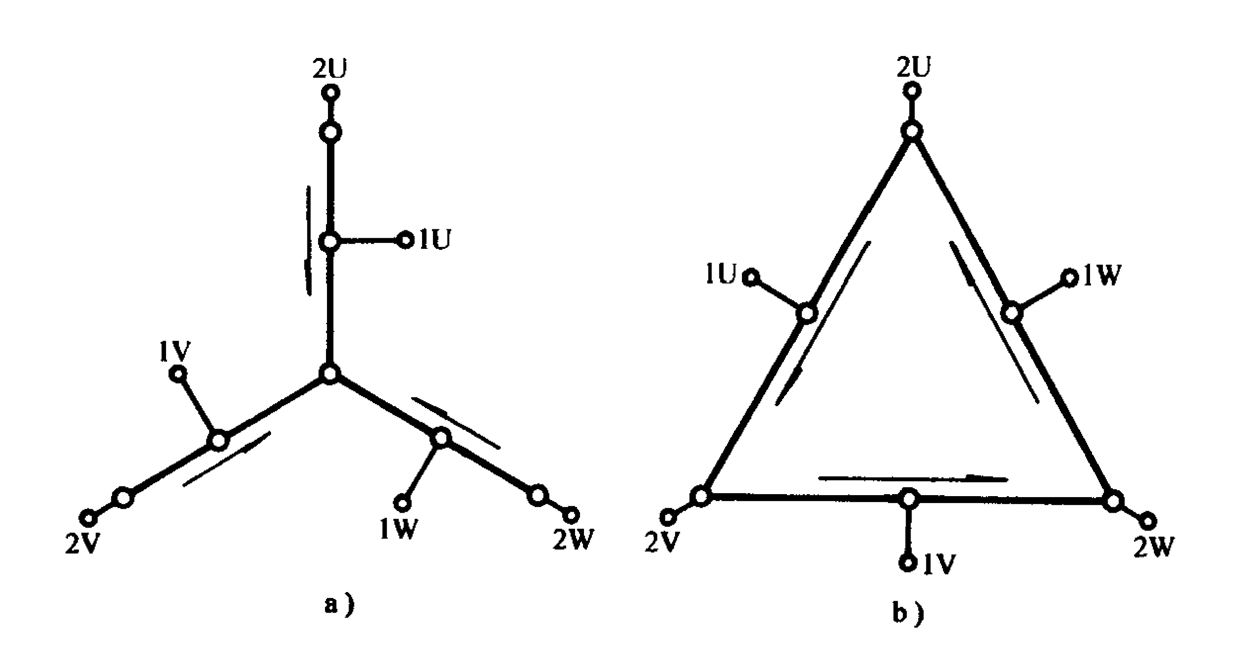


图 4-6 变极绕组示意图常用的基本形式
a) Y形 b) △形

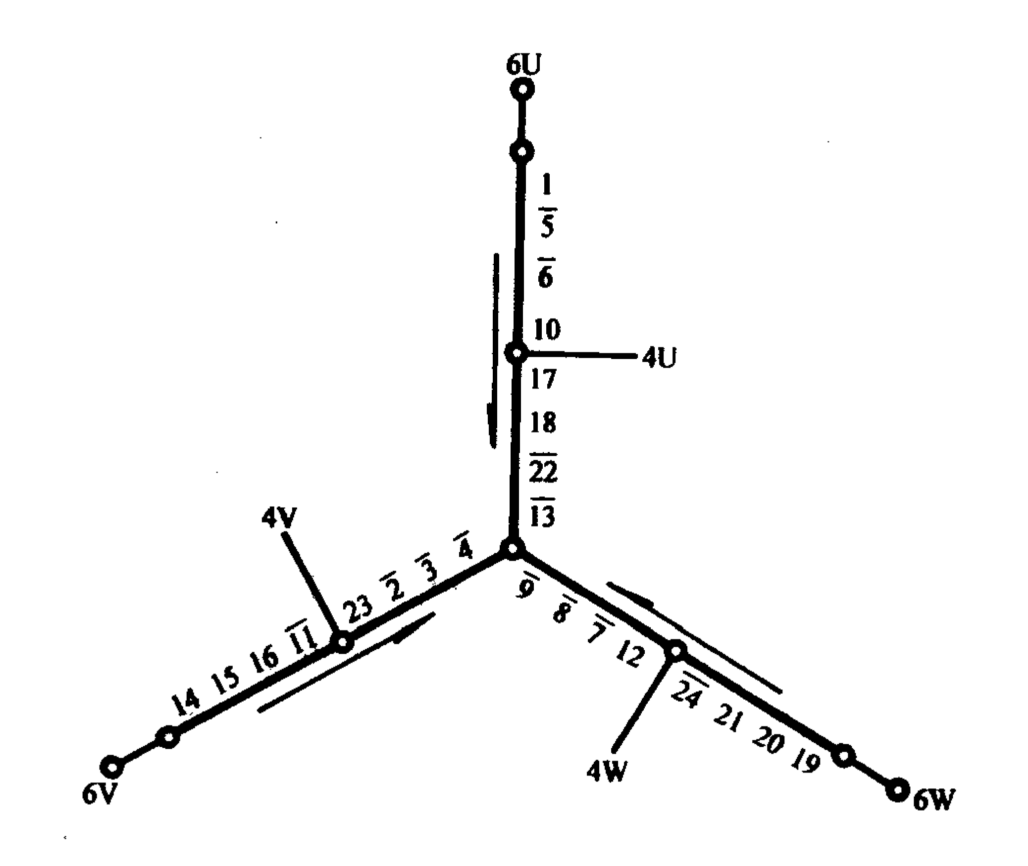


图 4-7 24 槽 6/4 极 Y/2Y（图 4-4）的简化接线示意图

2. 转子绕组无溶剂滴浸漆典型浸烘工艺

电机转子浸漆有多种工艺，对大型、慢速的转子绕组仍可采用1032绝缘漆进行淋浸或滚浸较好，其浸烘工艺可参照定子绕组进行；对小型、高速的转子绕组，则推荐选用无溶剂绝缘漆进行滴浸。几种无溶剂滴浸漆的浸烘工艺可参考表4-25。

表4-25 转子绕组无溶剂滴浸漆典型浸烘工艺

序号		1	2	3		4	5	
工序		预烘	第一次滴浸	第一次烘干		第二次滴浸	第二次烘干	
				胶化	固化		胶化	固化
5152-2B级环氧聚酯酚醛无溶剂滴浸漆	温度/℃	130	50~60	130	140	50~60	130	140
	时间/h	6	0.5	12~15 min	10	3~15 min	15min	12
	热态绝缘	>20MΩ			>8MΩ			>2MΩ
9102B级环氧无溶剂滴浸漆	温度/℃	120	110~120	130	140~150	110~120	130	140~150
	时间/h	2	2~10 min	14~17 min	1~2	2~10 min	15min	2
	热态绝缘							
319-2F级不饱和聚酯无溶剂滴浸漆	温度/℃	130	50~60	150	150	50~60	150	155
	时间/h	6	0.5	3	4	3~15 min	3	7
	热态绝缘	>20MΩ			>10MΩ			>5MΩ

注：本工艺也可用于小型定子绕组滴漆工艺。

率决定，一般约烘 12～20h 左右。

三、浸烘工艺典型实例

1. 定子绕组 1032 醇酸绝缘漆浸烘工艺

目前电机产品普遍采用 B 级绝缘，定子绕组选用高强度漆包线绕制，并选用 1032 醇酸绝缘漆浸渍，其浸烘工艺见表 4-24。

表 4-24 定子绕组 B 级绝缘 1032 漆典型浸烘工艺

序号	工 序		电动机中心高 /mm	烘燥温度 /℃	干燥时间 /h	热测稳定绝缘电阻 /MΩ	备 注
1	预烘		$H \leqslant 160$ $H \geqslant 180$	120±5	4～8	>50 >15	大功率电机干燥时间稍长
2	第一次浸漆			60～80	≥15min		浸漆粘度为#4 杯 18～22s，不冒泡为止
3	滴干			室温	>30min		不滴漆为止
4	第一次干燥	挥发		85±5	1～2		浸漆后 1～2h 内进入干燥阶段
		固化	$H \leqslant 160$ $H \geqslant 180$	升温 130±5	4～8 8～16	>10 >2	
5	第二次浸漆			60～80	10～15min		浸漆粘度为#4 杯 35～40s，浸透不冒泡为止
6	滴干			室温	>30min		不滴漆为止
7	第二次干燥	挥发		85±5	1～2		浸漆后 1～2h 内进入干燥
		固化	$H \leqslant 160$ $H \geqslant 180$	130±5	6～10 10～16	>1.5	
8	第三次浸漆			60～80	10min		浸漆粘度为#4 杯 30～35s，浸至不冒气泡为止
9	滴干			室温	30min		不滴漆为止
10	第三次干燥			130±5	5～14	5	不粘手为止

注：1. 热测稳定绝缘电阻仅为参考值，确定要与 3h 的绝缘电阻变化率不大于 10% 为准；

2. 本工艺是 B 级绝缘烘燥工艺，也适用于 E 级绝缘，但浸漆温度可略为降低。

隙，将降低绕组的机械强度，在高速转动下的离心力作用，容易引起导线散股或绝缘脱皮，从而导致匝间短路故障，因此，对于高速的串励电动机电枢，最好用无溶剂滴浸工艺进行浸漆。转子绕组常用绝缘漆见表 4-9。

滴浸有手工滴漆和自动化滴漆。自动化滴漆是在转子滴浸机上进行，一般只有批量生产的先进生产厂家才具备这种条件，修理车间均用手工滴漆。其操作工艺如下：

1）转子在 120℃温度下预烘 2h，取出用青壳纸把换向器包起来；

2）将转子换向器朝下，约倾斜 10°~15°立起，然后在不低于 80℃温度下用小毛刷蘸着无溶剂漆滴涂在绕组端部上面，滴浸速度约 10~60mL/min（功率大者滴速快些）；

3）第一次滴浸时间为 2~10min，漆从下端部绑绳均匀渗出浸透时，再用毛刷蘸漆在绑绳部位涂刷两遍，则第一次滴浸完成；

4）转子垂直（换向器向下）放入烘箱进行胶化，烘温约 120~155℃（根据选用漆种由表 4-9 确定具体温度）；

5）烘满胶化时间（参考表 4-9）后，将转子翻过来（即换向器向上）进行 5 倍于胶化时间的固化烘燥；

6）第二次滴浸工艺方法同上，但最后固化时使换向器向下立放，固化时间则 10 倍于胶化时间。

二、烘干

烘干又称烘燥。其目的是加速挥发漆中的溶剂和水分，使绕组线圈形成坚实的整体。干燥过程有两个阶段：第一阶段是使溶剂挥发，故烘温不宜过高，一般应在 70~80℃左右。这样既有利于内部溶剂和水分的挥发，又不至造成漆随蒸发而流失。初烘时间一般为 1~2h，但要注意通风换气，使溶剂和水分及时排出。第二阶段是使漆膜固化，烘温愈高则效果愈好，但不能超过选用绝缘漆和绝缘材料的允许温度，一般 A 级绝缘约 115℃左右，E 级、B 级绝缘约为 130~140℃。烘干时间视绝缘电阻变化

2. 电动机绝缘检测

(1) 新绕组半成品绝缘　新绕组半成品(耐压前)无论绕组对地或相间绝缘电阻均应满足表 5-2 要求。

表 5-2　交流电机绕组白坯(经烘燥、冷却后)的绝缘电阻

电 机 类 型	绝缘电阻要求
500V 以下低压电机	> 5MΩ
3 ~ 6kV 高压电机	> 20MΩ

(2) 重绕新绕组成品绝缘　交流电枢绕组对地、绕组相间以及直流电机电枢绕组(含换向器)对地的热态(75℃)时的绝缘电阻(MΩ)，要求由下式确定：

$$R_{75} \geqslant \frac{U_N}{1000}$$

式中　U_N——电动机额定电压，V。

交流电机转子绕组(热态)绝缘电阻(MΩ)由下式确定：

$$R_{75} \geqslant \frac{U_N}{2000}$$

当测量时电动机处于冷态常温，其所测值将高于上式计算，故需将实测值按下式换算到 75℃的标准值再与上式计算值(MΩ)进行比较。

$$R'_{75} = R_t / n$$

式中　R_{75}——绕组工作于热态(75℃)时所要求满足的绝缘电阻值，MΩ；

R_t——在常温 t (℃)环境下实测电机绝缘电阻值，MΩ；

R'_{75}——将实测值换算到热态时的阻值，MΩ；

n——与温度有关的经验系数，

$$n = (75 - t)/10 \text{ (凑整)}$$

t——测量绝缘时的环境温度，℃。

【例 5-1】　某 6kV 高压电机，在室内常温 28℃时测得绝缘电阻为 40MΩ，是否合格？

(8) 检查绕组端部，要求绕组端部各线圈整齐划一，无扭曲变形，即定子端部呈喇叭形，转子端部呈圆桶形；

(9) 检查绕组各部，要求各部无残锡或杂物遗落；

(10) 检查换向器，要求换向片表面及片间不应粘有焊锡、焊剂及其他铜屑、杂物。

二、电机绝缘电阻与吸收比检测

绝缘电阻是电机绕组对地(机座)隔电性能好坏的标准，通常用兆欧表(摇表)检测。

1. 兆欧表检测要点

电机绕组绝缘对新、旧绕组有不同的要求，下面所述主要是对重绕的新绕组而言。

(1) 兆欧表的选用　电机绕组检测绝缘电阻采用的兆欧表，可根据电机电压等级，由表 5-1 选用相应规格。

表 5-1　绝缘电阻测定用兆欧表的选用

电机类型	电机电压/V	选用兆欧表规格
低压电机	≤127	250V
	200～500	500V
中压电机	600～1000	1000V
高压电机	3000～6000	2500～5000V

(2) 兆欧表使用要求

1) 测量前仪表检验　慢慢摇转手柄，将两检测端测棒短接后表针指示应为零；然后分开检测棒，则摇转手柄时指针应向"∞"处偏转，其指示值应大于 500MΩ；

2) 检测时兆欧表接地端"E"与机座或电机转轴连接；另一端子"L"与被测绕组连接，而未测的其余相绕组均与外壳(金属机座)相连。测量时按 120r/min 的均匀速度摇转手柄 1min；

3) 测量用的表线必须选用绝缘良好的多股铜芯胶皮线，测量时不得将两线绞在一起；

4) 测量完毕应对被测点对地短路放电。

第五章　电动机重绕修理的质检

电动机重绕要求具有较高的质量和保持原有的工作性能，为此，必须在修理后进行各项参数的检测和试验。

第一节　重绕质量检查

重绕电动机的检测是检验重绕质量的基本依据，检测项目通常分为半成品试验和成品出厂检验。半成品试验贯穿于修理过程的各个工序，但一般要在浸漆前进行，以便通过半成品检测及早发现因绝缘薄弱环节而造成的缺陷，以及接错而造成的故障等。因此，绕组半成品检查是重绕修理中最基本的检验，通常由修理者自检或互检。

电动机重绕基本检查项目如下：

一、外观检查

（1）检查绕组端部，要求机座、端盖与线圈的绝缘距离不少于7～10mm；

（2）检查线圈绝缘纸，要求隔相纸或线圈间绝缘纸的衬垫部位要正确，一般视电机大小高出线圈1～3mm，但不得高于铁心；

（3）检查绑扎线，要求任何部位均应低于铁心2～5mm；

（4）检查槽口，要求各槽口处的绝缘纸不应有开裂，如有缺陷，应补垫以加强绝缘；

（5）检查槽楔，要求槽楔无扭曲、无开裂，且不得高出槽口铁心，也不要过分松动；

（6）检查绕组接线头，要求线圈无漏接、无错接；

（7）检查接线头绝缘，要求各线头应有良好的绝缘及牢靠的绑扎；

用松节水)，将定子内腔及机壳上的余漆清除；

5）将定子绕组进行烘干后取出，凉至 70～80℃进行第二次淋漆，操作程序同上次。但要求绝缘漆粘度提高到#4 杯 30～38s，使绕组导线间的间隙更加充满，表面漆膜加厚。

本工艺也适用于转子绕组淋浸 1032 绝缘漆工艺，但漆的粘度必须严格控制在#4 杯 35～38s，以提高浸漆后的机械强度。

（2）转子绕组滚漆工艺　本工艺主要用于大型转子绕组浸漆，但在现场检修中也可实施。滚浸操作工艺如下：

1）预烘绝缘合格后取出凉至 70～80℃，水平架托于漆盘之上，开始第一次浸漆；

2）托升长方形漆盘，使盘底至转子下部留约 2cm 左右空隙，将粘度#4 杯 25～30s 的绝缘漆(可用 1032、1033 或 319-2 等)漆面浸过绕组约 10cm；

3）浸漆 15min，若无气泡冒出则转过一段也浸 15min，但前后浸入两段应有 1/6～1/4 的重叠。如此类推，直至整个绕组浸透；

4）然后将转子慢速转浸一整圈，再打开排漆阀回收余漆(如无排漆阀则可将转子吊离漆面或将漆盘降低至脱离转子)，转子开始滴漆，这时最好能慢慢转动转子，使其挂漆均匀；

5）滴漆 30min 后用布或毛刷蘸溶剂擦去转子铁心表面、换向器及轴上的余漆，然后将集电环或换向器向下，垂直再滴 30min；

6）将转子翻转(即换向器向上)进入烘房，垂直放置进行烘干；

7）烘干后取出，凉至约 70～80℃再进行第二次浸漆，滚浸工艺与上次相同。但漆的粘度改为#4 杯 35～40s，且每段浸入时间约为 4min 即可。滴漆 30min 进行烘干。绕组烘燥工艺见下面内容。

（3）交直流串励电动机电枢绕组滴浸工艺　小型的转子绕组可采用沉浸或淋浸工艺。但有溶剂漆烘干后会在绕组中留下空

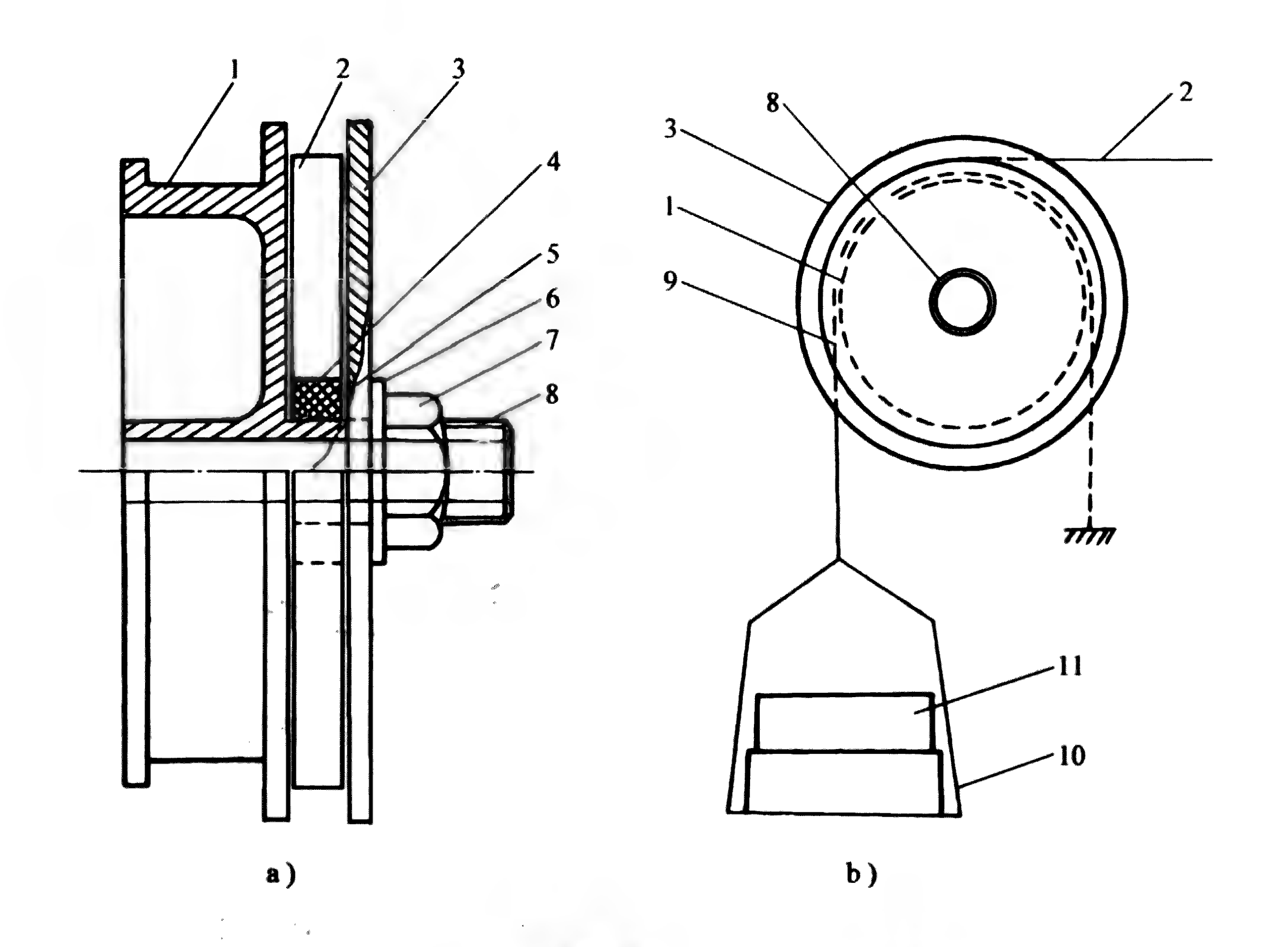


图 4-50 带摩擦滚轮的放带夹轮装置

a）放带夹轮结构 b）放带装置示意图

1—绑扎拉力皮带轮 2—无纬带卷 3—放带轮夹板 4—无纬带卷带心 5—压紧衬垫 6—垫圈 7—压紧螺母 8—空心螺杆轴套 9—摩擦皮带 10—配重架 11—调节拉力配重

三、交直流串励电枢绕组绑扎

交直流串励电动机转速很高，绕组端部及引线头会因离心力而飞散。因此，在换向器端的端部(包括引线头)必须用腊线或白棉绳进行捆扎。但绑扎之前电枢绕组要进行绝缘检查、接线检查及片间压降测试等半成品项目的试验，详细内容参考第五章。

串励电枢绕组端部绑扎工艺如下：

(1) 用厚度 0.2mm 的玻璃丝漆布或黄腊绸剪成扇形包封片，将引线头包住如图 4-51a，并临时用棉绳绑住；

(2) 扎绳紧靠换向器端开始，绳头成垂直折返铁心端，并留出约 10cm 左右，如图 4-51a；

2）取出后用青壳纸围绕在端部整形部位(纸可分三、四段)作衬垫，然后把夹具装上，同时在衬垫下，用手锤将端部高出处敲打修圆；但注意不要敲在线圈的鼻端绝缘脆弱部位；边整圆边拧紧夹具螺栓，使端部的线圈底部与转子支架绝缘靠紧为止；

3）卸下夹具取出衬垫，再将转子加热到 80～100℃；

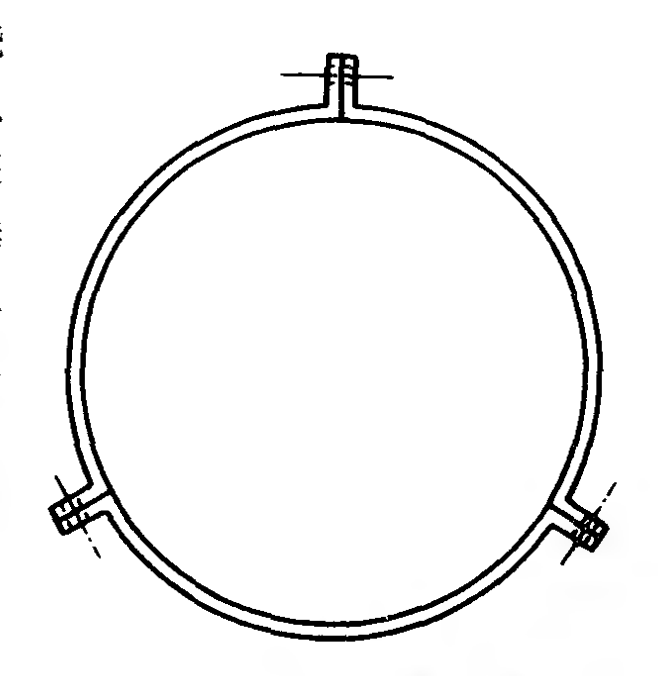


图 4-49　转子绕组端部整形圆箍夹具

4）取出转子，并在需绑扎部位表面涂上一层 1032 绝缘漆；

5）把无纬带装入带有摩擦滚轮的放带夹轮上，拧紧夹带螺帽，装入放线架上，然后加入调整配重，如图 4-50b，使无纬带初拉力为 300N；

6）初绕一层后增加配重，使拉力达到 400～600N 后继续叠加缠绕，绕至一个箍(段)的层数后剪断，再依此程序进行第二段的绑扎。但每一箍的层数不得小于 7 层，而且绑扎时不要来回交叉缠绕，要绑完一箍再绑并排的第二箍；

7）无纬带绑扎完成后，可与转子绕组一起浸漆烘干。为了保证固化质量，无纬带的固化时间和温度必须满足表 4-23 要求。

表 4-23　无纬带固化温度与时间

无纬带类型		聚酯无纬带		环氧无纬带		聚酯酰亚胺无纬带	
固化温度与时间		温度/℃	时间 h	温度/℃	时间 h	温度/℃	时间 h
加热固化工艺程序	1	80～90	2	80～90	2	80	2
	2	110～120	2	110～120	2	100～120	4
	3	130～140	17	130～155	17	160	3
	4					180	2
	5					200	2

式中　W_b——无绑玻璃丝带所需匝数；但每段最小厚度不得小于7层；

W_g——原用钢丝的匝数；

K——换算系数，由表4-22选用。

表4-21　常用无纬带性能表

名　称	纤维量	绝缘等级	规格（厚×宽）/mm	抗拉强度/MPa			贮存期	
				常温	130℃	180℃	0℃	室温（<30℃）
聚酯B型	73%±3%	B	0.17×25	780	470~510			3个月
环氧B型	75%±2%	F	0.17×25	880	530~570		1个月	
环氧H型	75%±2%	F	0.17×25	780		470~510	1个月	
聚胺-酰亚胺型	68%	H	0.17×25	600		490	1个月	
聚芳烷基醚酚型	73%	H	0.17×25			490	半年	

注：1MPa≈10.02kgf/cm^2。

表4-22　无纬带代钢丝绑扎匝数的换算系数 K

钢丝直径(mm)	ϕ1.0	ϕ1.5	ϕ2.0
换算系数 K	0.3	0.46	0.55

(3) 绕组端部整形夹具　转子在高速转动下的离心力很大，为了获得较好的动平衡，要求线圈端部有一个圆形的对称形状。另外，为了增强绕组端部的机械强度，线圈底部必须与转子支架绝缘靠紧。因此，绑扎前要进行整形和预扎。预扎的夹具如图4-49所示。它是用厚度为4~6mm、宽为60~100mm的钢带制成，它由三个圆周为三分之一弧的带耳弧状箍件构成。使用时将夹具装好，再用螺栓将其收紧而达到整形和扎紧的目的。

(4) 无纬带绑扎工艺

1) 将转子进行80~90℃预热约2~4h；

再者是沉浸所耗漆量较大，一般修理单位不宜采用。

(2) 淋浸　淋浸是把电机垂直于漆盘中央，用淋漆电泵或盛漆勺将绝缘漆淋向绕组上端部；当漆液灌透后，滴漆约 20min，把电机翻过来再淋另一端绕组，淋透为止。淋漆工艺工效较低，但耗漆少、设备简单，适用于修理台数不多、规格不一的定、转子绕组浸漆，尤其适用于大型电机采用。是一般修理所常用的工艺。

(3) 滚浸　滚浸主要用于较大的交流和直流电机转子绕组。它有两种形式：一是把转子水平放入绝缘漆槽中，让转子在槽内滚动浸漆；另一是把转子架在漆盘之上，使转子在两端轴支承下能转动，然后将漆盘升高，使转子下部浸入绝缘漆中，分段转动进行浸漆。

(4) 滴浸　滴浸采用无溶剂绝缘漆，操作时把预烘后降温至 65℃左右的电机绕组置于漆盘之上，用刷子把漆滴向绕组，浸润之后待 10min 再将绕组翻转，滴浸另一端绕组，一直浇透为止。滴浸工艺除用人工操作外，也可采用自动化生产，是一种较新的工艺形式，适用于中小型定、转子绕组，尤其宜用于小型高速转子绕组。

2. 浸漆工艺

(1) 定子绕组淋漆工艺　淋漆是采用有溶剂绝缘漆，常用的绝缘漆及其性能见表 4-8。定子绕组一般要进行两次浸漆。淋浸工艺如下：

1) 取出预烘的电机绕组，待凉至 70～80℃，垂直架于漆盘之上；

2) 将 1032 醇酸漆调为 #4 福特杯 18～22s，用淋漆电泵或漆勺从绕组上端淋入，使漆从线圈渗入并由下端部回流到漆盘，进行第一次浸漆操作；

3) 停置滴漆约 20～30min 后，把定子翻转，再将绝缘漆淋向另一端绕组，直至渗透为止，完成第一次浸漆；

4) 定子停置滴漆约 30min，此过程用布或毛刷蘸溶剂(也可

潮、防腐蚀气、液体等侵蚀绝缘性能，并提高机械强度、导热性和散热效果，使绝缘延缓老化等，因此，重绕后的电机绕组必须进行浸漆烘燥处理。

（一）预烘

绕组浸漆前应预烘加热，使绕组在嵌绕过程被绝缘材料吸入的潮气和其他可挥发性杂质驱除出去，以便浸渍漆能充满绝缘空间，进而提高绝缘强度。

预烘温度要根据绝缘材料的耐热等级决定，通常，为节约用电，缩短去潮时间，预烘温度可稍高些。例如，E 级绝缘选 120～125℃；B 级约 125～135℃；F 级约 135～155℃。但预烘温度不应过高，否则会引起绝缘材料老化。此外预烘初始温升速度控制在 20～30℃/h，当温度增至上述值，当测量绝缘电阻基本稳定，即在 3h 内绝缘电阻变化不大于 10%，且大于 3MΩ 时，则预烘结束，一般预烘过程约需历时 4～8h。

预烘还应注意如下两点：

(1) 为使绝缘内部水分充分散发，温度要从低至高加温，特别是严重潮湿(如水浸过)的绕组，温升速度还要低些，一般是 8℃/h 左右；

(2) 烘干时要求采用热风循环，如无此条件则必须定时换气，使温度分布均匀，利于含水热空气散发出去。

（二）浸漆

1. 浸漆的方法

浸漆的方法很多，所用设备各有简繁，可根据各自条件和生产情况适当选用。常用的浸漆方法有：

(1) 沉浸　又称整浸，是将整台电机(定子)绕组吊起沉没于绝缘漆罐的漆面以下约 20cm 的浸渍方法。为使绝缘漆充分渗透到绕组所有空间，最好再施加 0.3～0.5MPa 的压力。这种方法也可用于转子绕组浸漆。其特点是工效高，渗漆性好，是电机制造厂批量生产采用的浸漆方法。但修理时，一般铁心都带着电机外壳，并沾带着尘土、杂物，浸漆时落入漆中会影响绝缘漆质量，

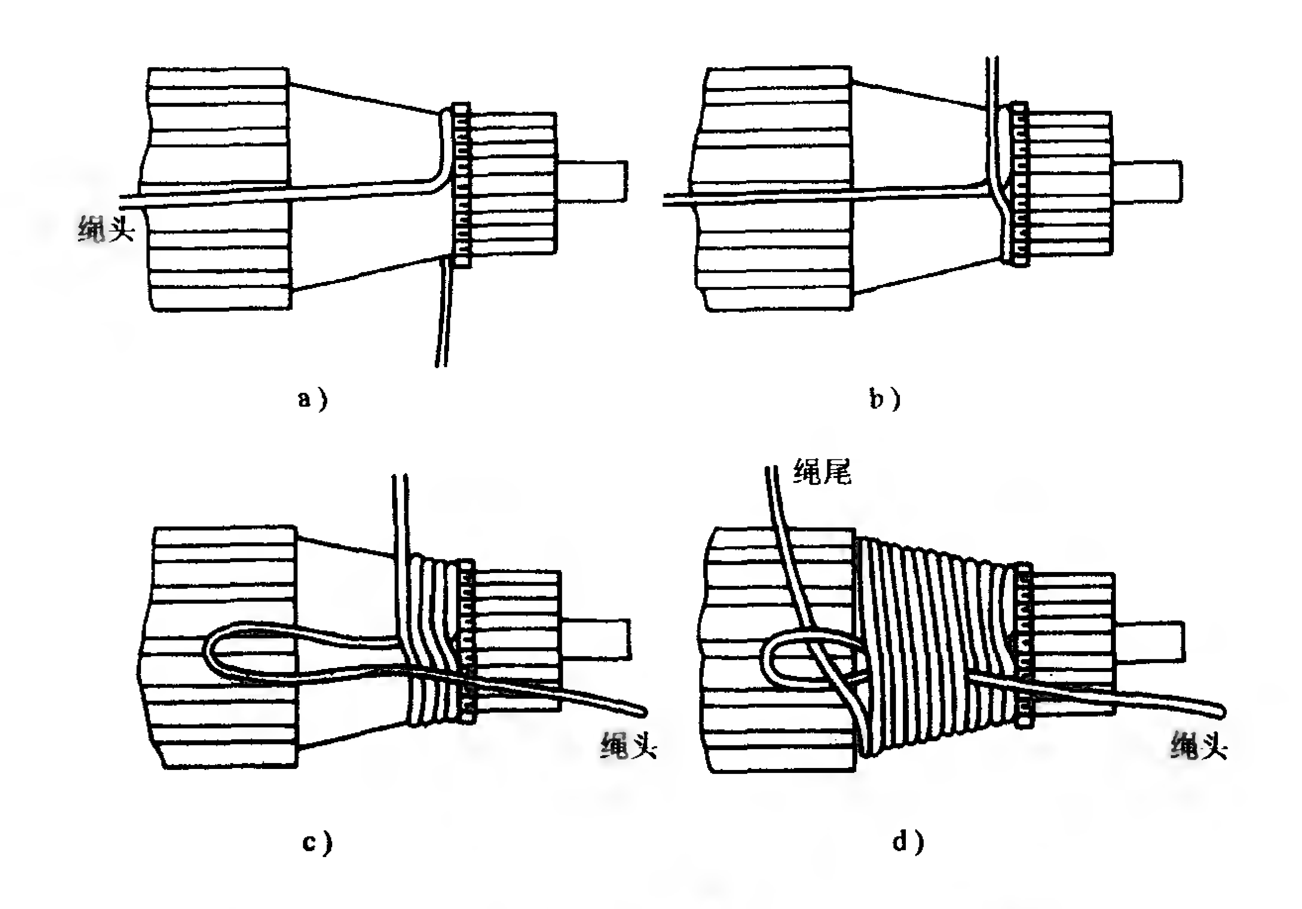


图 4-51　交直流串励电枢端部捆扎工艺和方法示意图

（3）缠绕一圈后，叠压垂直折起的绳头继续捆扎，如图 b；

（4）当捆扎到三分之一多一点圈数时，将留出的绳头回折向换向器，但回折圈留在铁心位置如图 c；

（5）将折回的绳头压在下面继续捆扎，当扎绳缠满绕组端部时，绳尾留长 6cm 后剪断；

（6）将绳尾穿过绳头的留圈如图 d，并用力慢慢拉绳头，当留圈套紧绳尾时，将绳尾留出 15 ~ 20mm，其余剪去；然后再拉绳头，把绳尾拉入扎绳下面。最后把多余的绳端剪去，则绑扎完成。

第八节　绕组浸漆与烘干

重绕电动机经半成品试验正常后，可将其重新卸开，进入浸漆工序。

一、电机绕组浸漆

绕组在电机结构中是最为脆弱的部件，为了提高绕组的耐

表 5-4　换向器式电机重绕耐压试验标准

试验绕组	1min 耐压值/V
电枢绕组对地(1kW 及以下)	$U_n = 2U_N + 500$
电枢绕组对地(1kW 以上)	$U_n = 2U_N + 1000 \geqslant 1500$
他励绕组对地	$U_n = 2U_L + 1000 \geqslant 1500$
换向器(旧)嵌线前对地	$U_n = 3100$
换向片间绝缘(接线前)	用 220V 试灯瞬时不击穿
换向极以及定子各绕组之间	$U_n = 2500$ 瞬时不击穿
36V 以下低压电机绕组	$U_n = 2U_N + 500$
冶金、起重用直流电机	$U_n = 3U_N + 1000$

注：U_N—电机额定电压(V)；
U_L—电机额定励磁电压(V)。

二、电动机空载试验

通过前面各项检测及耐压试验后，电动机便可进行空载试验。

1. 三相交流电动机的空载试验

空载试验属通电检测，是指电动机不带任何负载下接通三相额定电压的空载运行。空载试验在电机半成品和成品出厂前各进行一次。

(1) 空载电流检测　空载电流是从三相电动机定子电源线上测量所得的线电流。电动机的空载电流与功率、极数有关，而同规格不同系列产品有较大的差别，准确的数值要查产品说明书或有关技术资料。对一般用途的中小型电动机可参考表 5-5 进行比较。

表 5-5　一般用途三相异步电动机空载电流占额定电流的比值

功率/kW	0.06～0.2	0.22～0.5	0.55～1.5	1.7～4.5	5～11	13～30	32～90
2 极	0.53～0.64	0.35～0.5	0.37～0.52	0.34～0.38	0.26～0.32	0.24～0.29	0.27～0.29
4 极	0.63～0.74	0.6～0.67	0.48～0.52	0.34～0.45	0.35～0.37	0.33～0.36	0.28～0.31
6 极			0.55～0.61	0.48～0.54	0.42～0.45	0.35～0.43	0.26～0.28
8 极				0.55～0.59	0.49～0.53	0.42～0.48	0.39～0.42

如果试验过程绝缘击穿，且击穿点在表面，可在复试时观察击穿闪光点位置(注意保持一段安全距离)，断开电源后再找出并排除故障点。

绕线式转子绕组的试验方法与定子相同，但耐压标准不一样。

单相电动机只有两相绕组，耐压试验方法与三相相同，也要进行两次试验才能满足耐压要求。

(2) 直流电动机绕组耐压试验　直流电机耐压试验也可采用交流工频耐压，试验在冷态下进行，其绕组对地绝缘电阻应在每kV(电机额定电压)不低于1MΩ的条件下进行。试验时的电压施于绕组与机座之间，其余不参与试验的绕组均应与机座(地)连接后接到耐压源的接地E端上。

3. 中小型电机耐压试验标准

交流电机耐压试验标准见表5-3。

表5-3　交流电机绕组(相间、对地)耐压试验标准

试验阶段	电机规格	1min耐压值/V
新绕组半成品	1kW以下重绕定子绕组	$U_n=2U_N+750$
	1kW及以上重绕定子绕组	$U_n=2U_N+1500$
	重绕转子绕组	$U_n=2U_Z+1500$
新绕组成品	1kW以下重绕定子绕组	$U_n=2U_N+500$
	1kW及以上重绕定子绕组	$U_n=2U_N+1000$
	重绕转子绕组	$U_n=2U_Z+1000$
局部换线圈	定子绕组	$U_n=1.3U_N\geq U_N+500$

注：U_n—绕组相间、绕组对地的绝缘耐压值，V；
U_N—被测电机额定电压值，V；
U_Z—被测转子绕组开路电压值，V。

换向器式电机耐压标准见表5-4。

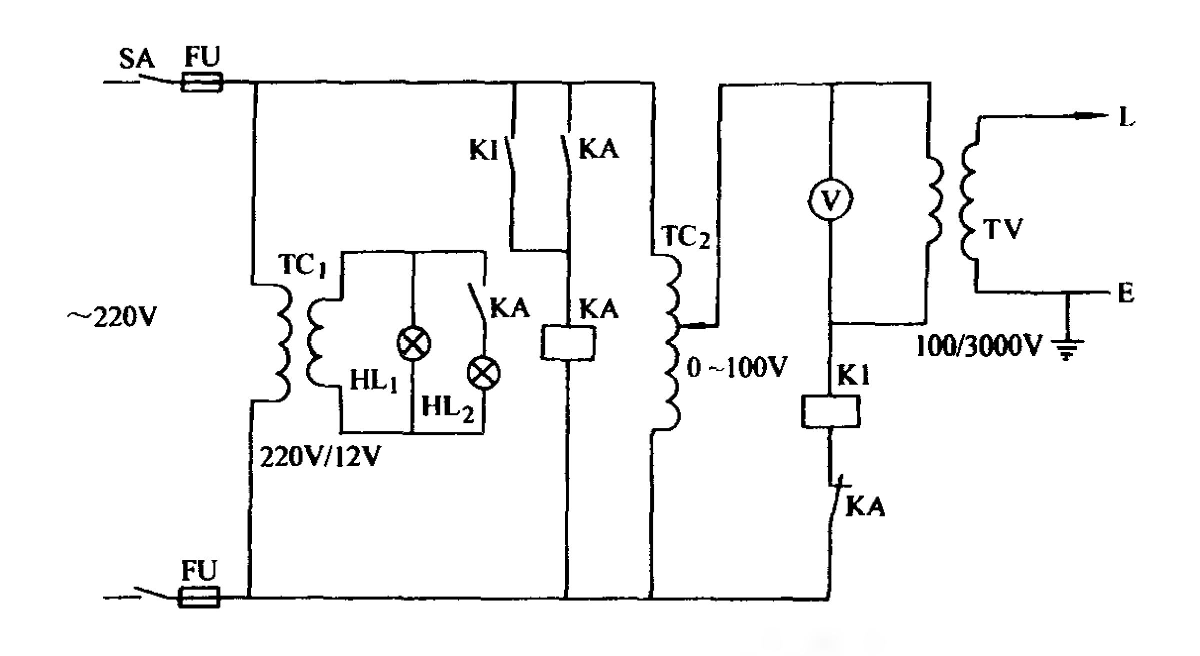


图 5-5　电机绕组耐压试验线路

HL_1—电源接通指示绿灯　HL_2—绝缘击穿指示红灯　KA—中间继电器

KI—电流继电器　TC_1—降压变压器　TC_2—调压器　TV—电压互感器

端同时接到耐压输出端 L，并将其短路接成如图5-6a所示，这样可避免发生接地故障时产生高压感应。余下一相的一端与地(机座)连接后再接到耐压输出的地端 E。如果上述试验耐压通过，说明 U、V 两相对 W 相绕组和对地绝缘良好，然后换接如图 5-6b，检验 W、V 两相对 U 相及对地的耐压情况。这样，只要做两次检验便可完成三相绕组和对地耐压试验。

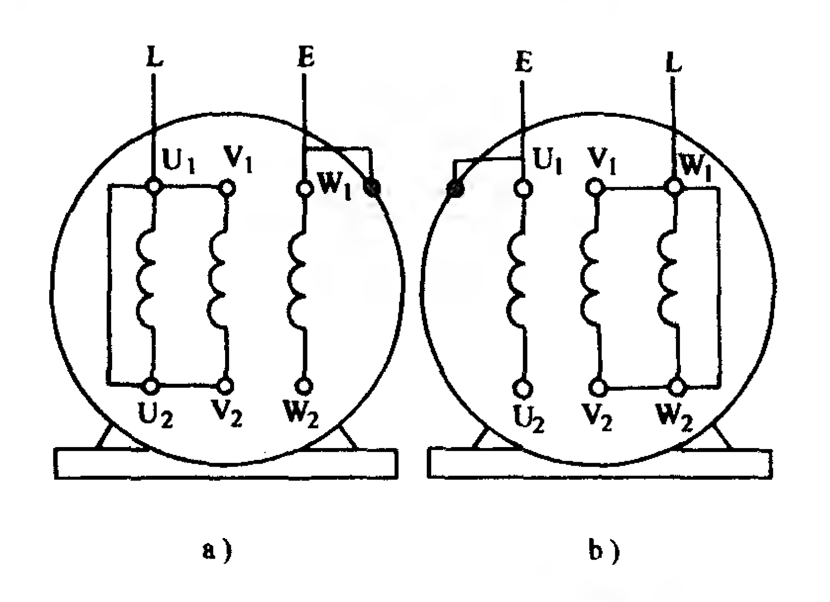


图 5-6　交流电动机绕组耐压试验接线

的电容器进行此项试验。

其实，由于此项短路升压试验所加电压有限，分配到绕组的每匝电压就更微乎其微了，因此，一般只能发现严重的匝间短路故障。更有效的办法是使用“匝间耐压试验仪”，以较高的冲击电压来找出匝间绝缘的故障隐患。

2. 直流电枢绕组匝间绝缘试验

直流电枢绕组匝间绝缘强度试验可在电动机空载运行时，把电压提高到额定电压的 1.3 倍，运行 5min 无冒烟击穿现象为合格。也可使电动机作发电方式运行，并使发电机感应电动势达到 130% 额定电压(可增加发电机励磁电流及提高转速的方法来获取高电压,但提高转速不得超过 115% 额定转速)，在高电压历时 5min 不出现击穿为合格。

四、短路试验

短路试验又称堵转试验。它是将交流电动机转子轴堵住不转的条件下进行的通电试验。试验形式有两种：

（一）定流法短路试验

用三相调压器逐渐调升被试电动机输入电压，并测量线电流，当定子线电流达到电动机额定电流时，所测得的三相绕组线电压值即是短路电压 U_K。

电动机短路电压是重绕参数是否合理的重要检验手段，也是电动机性能调整的重要依据。所以，有条件的话，对重绕后的三相电动机都应进行短路试验。一般 380V 的中小型三相异步电动机短路电压值要求基本接近表 5-6。

表 5-6　三相(380V)异步电动机短路电压参考值

电机功率/kW	0.6 ~ 1.0	1.1 ~ 7.5	7.5 ~ 13	13 ~ 50	50 ~ 125
正常短路电压值/V	90	85 ~ 75	75	75 ~ 70	70 ~ 65

（二）定压法短路试验

对额定电压 380V 的三相电动机施加 95V 的三相对称交流电压，这时记下的三相定子绕组线电流即是电动机的短路电流 I_K。

4）合上 S_a 后再断开主绕组开关 S_m，则电流表所测为辅绕组空载电流 I_{ao}；

5）再次输入额定电压 U_N 使电动机正常空转，然后断开 S_a，由电压表 V_a 测量辅绕组感应电动势 E_a；

6）输入 $U_a = 1.18E_a$ 的电压，当电动机空转转速稳定后断开 S_m，由电压表 V_m 测量主绕组感应电动势 E_m；

7）根据上述测量参数求取主、辅绕组的有效匝比：

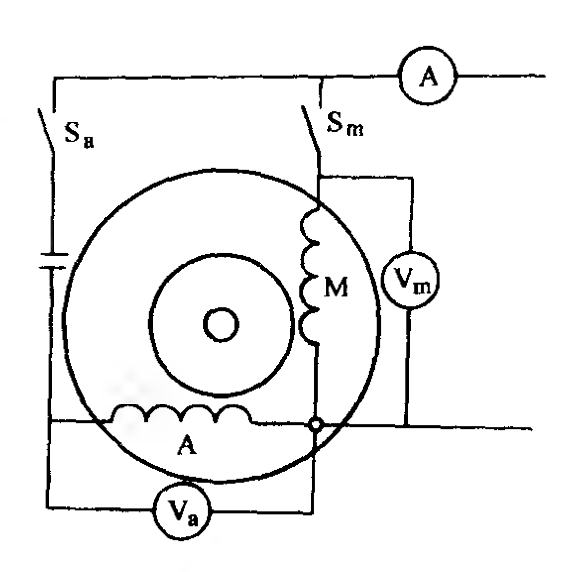


图 5-7　运行型单相电动机空载检测接线

$$K_B = \sqrt{\frac{U_a E_a}{U_N E_m}}$$

计算值应与绕组实际匝数比相差不应过大，否则可能是接线有错或线圈绕制匝数不对。

3. 直流电机的空载试验

重绕修理的直流电动机和交直流串励电动机的空载试验必须在浸漆烘干后进行。直流电动机可改作发电机的逆运行代替，以检测额定励磁时的空载电压，以及检查运行时的换向火花、响声、轴承等的运行状态。但逆运行需备一套拖动的试验设备，如无此条件，可不做此项。

三、绕组匝间绝缘强度试验

1. 交流电动机绕组匝间绝缘试验

交流绕组匝间绝缘强度试验是在空载试验后，再把电源电压提高到 1.3 倍额定电压运行 5min，并监视电流无明显变化，则可视为绕组匝间绝缘合格。

单相电容电动机做此项试验时，应考虑电容器耐压的承受能力，如原机所用电容器耐压较低，可临时换用同容量而耐压较高

三相异步电动机空载试验所测值应满足下列条件：

1）空载电流不应超过上表范围的±5%；

2）空载电流三相不平衡度不应超过10%，即

$$K_3 = \frac{3\ (I_m - I_n)}{I_1 + I_2 + I_3} < 10\%$$

式中符号含义见上节。

3）空载运转30～60min，其电流无明显变化；

4）空载运转应无异常响声，且轴承温度不应有明显过快的升高。

多速电动机空载检测内容基本同上述，但要按每一转速相应的接线分别进行，而空载电流值要参考有关资料对照。

绕线式电动机空载试验检测时要将转子绕组三相出线短接。

（2）绕线式转子绕组开路电压检测　开路电压检测又称绕线式电动机变比检测。测量时将转子绕组引出线开路，即对定子施加额定三相电压(U_{IN})，在转子滑环上测取的三相线电压 U_2 即为开路电压；其比值 U_{IN}/U_2 就是变比。实测的开路电压应与铭牌值相符，一般不应超过±2%。对于容量较大而短路阻抗较小的电机，也可对定子绕组施加1/2的额定电压，则开路电压为滑环间测取电压的2倍。

转子三相电压也应平衡，且与铭牌数值偏差不超过±5%。

2. 单相电动机的空载试验

（1）起动型单相电动机空载电流测量　电动机输入额定电压，运转正常后测取空载电流，并空转15～20min后，再测空载电流应无明显变化。

（2）运行型单相电动机空载测量

1）在被测电动机的主、辅绕组上分别串接开关 S_m 和 S_a，如图5-7所示；

2）合上开关 S_m 和 S_a，电动机输入额定电压，电流表测取空载电流 I_0；

3）断开辅绕组开关 S_a，电流表测量主绕组空载电流 I_{mo}；

第二节　重绕电动机质检与试验

上节的检测是对电机重绕正确接线的系统检查，使之避免由于工作疏忽而造成错误。本节是对修理质量技术指标的试验检测。对于重要的大型电动机，为提高其安全性及确保技术性能指标，通常要做十余项试验，但对于一般维修站，由于条件所限，通常通过几项试验的数据来估计重绕修理的质量。

一、绕组耐压试验

绕组耐压试验是在冷态下进行，它是确保电动机安全可靠运行的预防性检验。它是检验绕组绝缘耐受电压的能力，故又称为电介质强度试验。试验时在绕组与机座间或绕组每相之间施加工频高压交流电，耐受规定值的高电压 1min 不击穿为合格。

1. 耐压试验简易设备与使用　正规的电机修理厂一般都配备功能齐全的电机试验检测台，可对重绕电机进行各项检测。若修理单位不具条件时，可自制简易设备来进行检测。图 5-5 是一台简易的耐压试验台的结构线路。使用时按图接好被测电机，接通电源则绿灯 HL_1 指示，把调压器慢慢调升，将电压互感器电压提高输入升压器 T_1（可用 1∶30 的电压互感器代替），电压表接在升压器的原边，并按电压互感器的变比换算改换刻度盘，即由原边电压表读出高压输出电压值。试验时，后二分之一的升压过程要缓慢，约 10～15s 升到所需耐压值，如施压历时 1min 不击穿为合格；然后将电压调降再切断电源，并对被测绕组对地(机座)进行放电。

2. 耐压试验的电机接线

(1) 交流电动机绕组耐压试验　交流电动机包括单相和三相电动机，其绕组结构特点是分相布线，所以除保证绕组对地绝缘外，还需检验绕组相间(单相电动机则是主、辅绕组之间)的绝缘。对于维修站，为了简化试验程序，一般都将接地和相间耐压同时进行，即先将三相绕组分开，把其中两相(如 U 相和 V 相)的两

$$K_R = \frac{2(R_m - R_a)}{R_m + R_a} \leqslant \pm 2\%$$

式中　R_m——洗衣机电动机主绕组测得电阻，Ω；

R_a——洗衣机电动机辅绕组测得电阻，Ω。

4. 换向器式电枢绕组的直流电阻

换向器式电枢绕组电阻主要由换向片间电压降反映，相邻片间电压降可用自制的检测器接成如图 5-2 所示线路进行测量。检测时先把 R 调到最大值，合上开关 SA 后，将检测针 8 和检测器极端 7 接触相邻换向片，然后按压检测器看毫伏表指示，如指示过小或过大，可改变 R 值进行调整，使正常指示在刻度的 1/3 左右，但检测过程要是电流表读数保持不变说明正常；如片间压降过大(约比正常值大 30% 以上)，说明焊接不良或脱焊，要将其清理重焊；反之，若片间压降过小，则是有短路现象。

一般认为，换向片间的压降偏差不得超过 10%，即

$$K_r = \frac{10(u_m - u_n)}{\sum u_{10}} \leqslant 10\%$$

式中　u_m、u_n——用电压降法测得的相邻片间电压值，mV；

$\sum u_{10}$——从检测中选取 10 个出现最多且相近的片间电压降值之和。

四、绕组极性检测

1. 三相绕组极性的检测

三相交流电机绕组极性包括线圈极性、线圈组极性以及一相绕组相位极性等。

(1) 线圈及线圈组极性检测　线圈组及组内线圈的连接是有规律的。线圈组内的线圈是由线圈元件顺接串联而成，故同组所有线圈的极性必须相同。但线圈组的极性则视绕组型式而定，通常，绕组是采用显极式接法，即同相相邻线圈组的极性相反；但少部分绕组采用庶极接法，其接线规律是所有线圈组极性相同。

检测是在完成接线工序的半成品中进行，检测时把 3 ~ 6V 电池通入被测相绕组，用指南针沿定子内表面移动逐槽检测，在

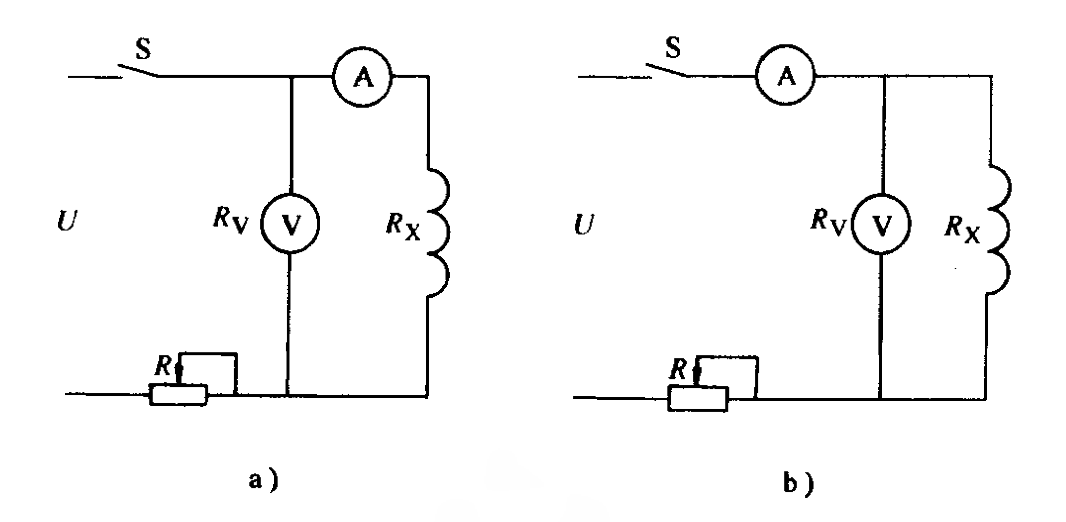


图 5-1　直流电压降法测电阻的接线

a) $\frac{R_V}{R_X}>200$ 时的测量线路　b) $\frac{R_V}{R_X}<200$ 时的测量线路

如用电桥测电阻，对容量较小的电机，由于每相绕组电阻通常都大于 1Ω，为获取较高的精确度，宜用单臂电桥测量；若电阻小于 1Ω 则用双臂电桥测量。

2. 三相电动机绕组直流电阻测量

三相绕组的直流电阻不相等将会引起三相电流不平衡，为确保重绕质量，应使测得的电阻值满足于下式：

$$K_R=\frac{3(R_m-R_n)}{R_U+R_V+R_W}\leqslant 2.5\%$$

式中　R_U、R_V、R_W——分别测量三相绕组的直流电阻值，Ω；

R_m、R_n——测得的三相绕组中分别为最大(m)和最小(n)的电阻值，Ω。

上式的标准适用于中、小型的低压电动机，对容量大于 500kW 或电压高于 1kV 的电动机，K_R 值应不大于 1%。

3. 单相电动机绕组的直流电阻测量

单相绕组测量方法同三相电机，但单相的主、辅绕组一般不相等，只能与原绕组数据进行比较，测量的数据应记录存档备查。对一些特殊的单相电动机(如正反转的洗衣机电动机)则主、辅绕组参数相同，故测得的两相绕组直流电阻应满足下式：

解：该电机在热态下要求的绝缘电阻应不小于下值：

$$R_{75}=\frac{U}{1000}=\frac{6000}{1000}=6\text{M}\Omega$$

实测值换算到热态时相当于

$$R'_{75}=\frac{R_t}{n}=\frac{R_t}{(75-t)/10}=\frac{40}{(75-28)/10}=8\text{M}\Omega$$

因为 8 > 6（要求值），故本电机绕组绝缘合格。

（3）电动机（成品）绝缘吸收比测定

一般采用漆包线绕制的中小型电动机绕组，只要检测绝缘电阻合格就可以了，但对纤维绝缘导线绕制的中型电机，还应测量吸收比，并满足于下式：

$$K=\frac{R_{60}}{R_{15}}\geqslant 1.3$$

式中 R_{60}——兆欧表检测摇到 60s 时的读数；

R_{15}——兆欧表检测时摇到 15s 时的读数。

三、绕组直流电阻测定

绕组直流电阻在冷态下进行，测量方法主要有电压降法和电桥法。

1. 电压降法测量绕组电阻

（1）电动机经烘燥后取出冷却至室温；

（2）将需测量的一相绕组 R_X 如图 5-1 所示连接。其中图 a 适用于电压表内阻 R_V 与被测电阻 R_X 之比大于 200 时的测量；若比值小于 200 则宜采用图 b 线路；

（3）合上开关 S 接通直流电源，调小电阻 R 值，使电流表 A 显示值约为电机每相电流的 20%（可取仪表整刻度数）；

（4）记下电流表读数 I 和电压表读数 U，由下式求取被测绕组的直流电阻值（Ω）：

$$R_X=\frac{U}{I}$$

为了确保数据正确，最好测量三次取其平均值。另外还需记下测量时的室温，以供今后修理时参考。

极极性应是交替变化，如相邻极性相同则说明接线极性错误。

以上做法也适用于交流罩极式电动机和交流串励电动机等凸极式定子绕组的极性检测。

3. 直流电动机换向极极性检测

直流电机换向极在相邻线圈间的极性也是相反的，但若采用庶极形式(即换向极数目只有主极数的一半)时，则全部极性相同。

为了补偿电枢反应引起的中性线偏移，换向极极性必须有如图 2-113 的关系，如不能用查线的方法确认，则换向极绕组与电枢绕组连接后，可用感应法检查。其方法如下：

(1) 将大号干电池(1.5 ~ 3V)串联开关 SA 后并接于换向极绕组 H_1—H_2，注意电池“+”极接在电枢与换向极交接点，如图 5-4 所示。

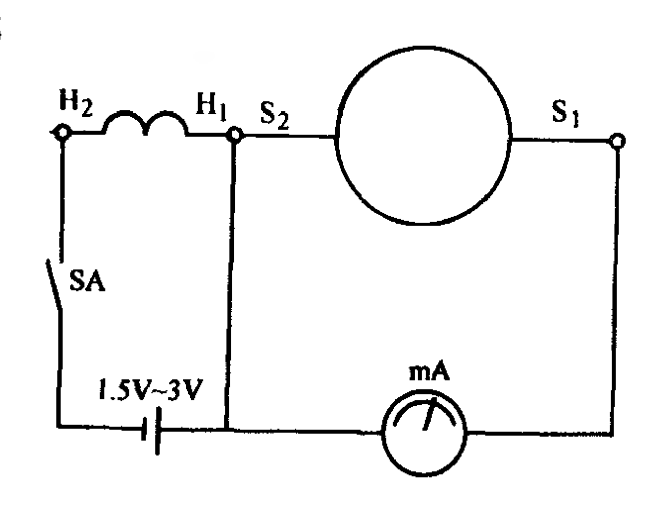


图 5-4 用感应法检查换向极绕组接线极性

S_1、S_2—电枢绕组引线

H_1、H_2—换向极绕组引线

(2) 把万用表调到直流 mA 挡(或直流 mV 挡)，并联在电枢两端，但注意把表的“-”极接在电枢与换向极的交接点(见图)；

(3) 合上开关 SA 瞬间，表头指针若从零向正偏转，说明换向极绕组接线是正确的；如果合上开关瞬间表针反摆，则是接线错误，这时可将换向极线头 H_1 解开，将 H_1 与 H_2 调反后再测，从而可靠确认其正确性。

以上检测是在绕组内各换向极的极性关系正确的条件下进行的，而换向极的极性可参考主极的方法检测，但由于换向极匝数少，必须输入足够大的直流电流才能检测。

所示，并将电池“+”极接的线头标记为 U_1；

3）把万用表调到 mV（或 mA），并接到 W 相任意两线头；

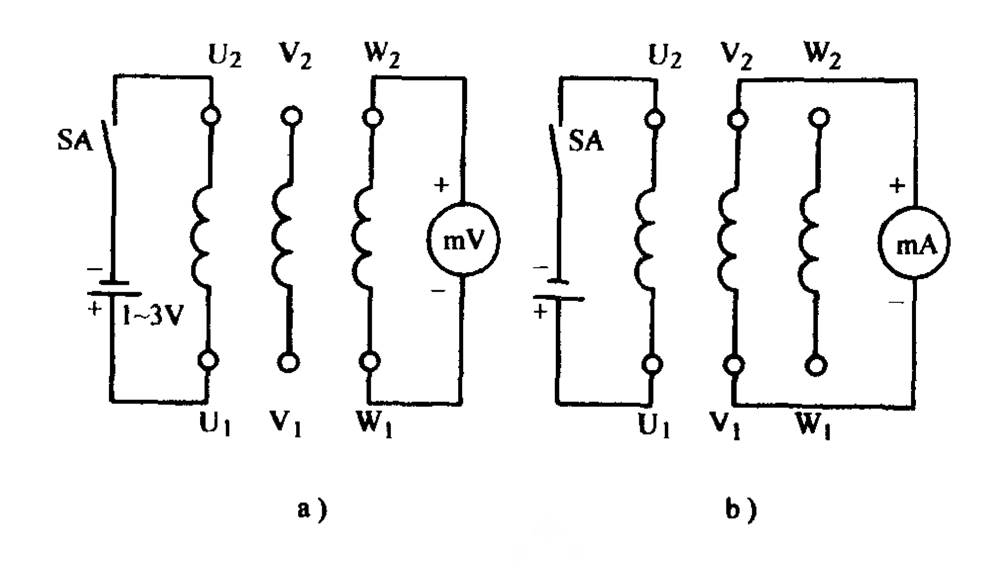


图 5-3 干电池-万用表法检测三相绕组引出线极性

4）合上开关 SA 瞬间观察表针指示应为正向摆动（如系反向则调换两表笔使其正摆），这时表笔“-”极所接的引线与电池“+”引线是同极性（脚注均为“1”）即 U_1、W_1；

5）将万用表笔改接到 V 相如图 5-3b 进行检测，同理合上 SA 瞬间表针正摆时，电表“-”极所接引线是 V_1；

6）显然，余下三根引线是另一极性（脚注为“2”），即按相分别标记为 U_2、V_2、W_2。

2. 直流电机主极绕组的极性检测

直流电机是凸极式定子，一般用显极接线，故相邻两极线圈的极性必须相反，检测用指南针法。

（1）检测前用指南针靠近凸极铁心，并记下它的剩磁极性；

（2）将定子绕组接入直流低压可调电源，把大头针（大电机用铁钉）靠近铁心内腔，慢慢调高检测电压使其产生吸力；

（3）然后调低电压使吸力减弱后，将指南针靠近铁心检测，如极性与原剩磁相同，则将接入定子的电源极性调反后再通电，使铁心磁力由零变到能吸引大头针止；

（4）这时，用指南针依次分别检测各主极极性，即相邻两主

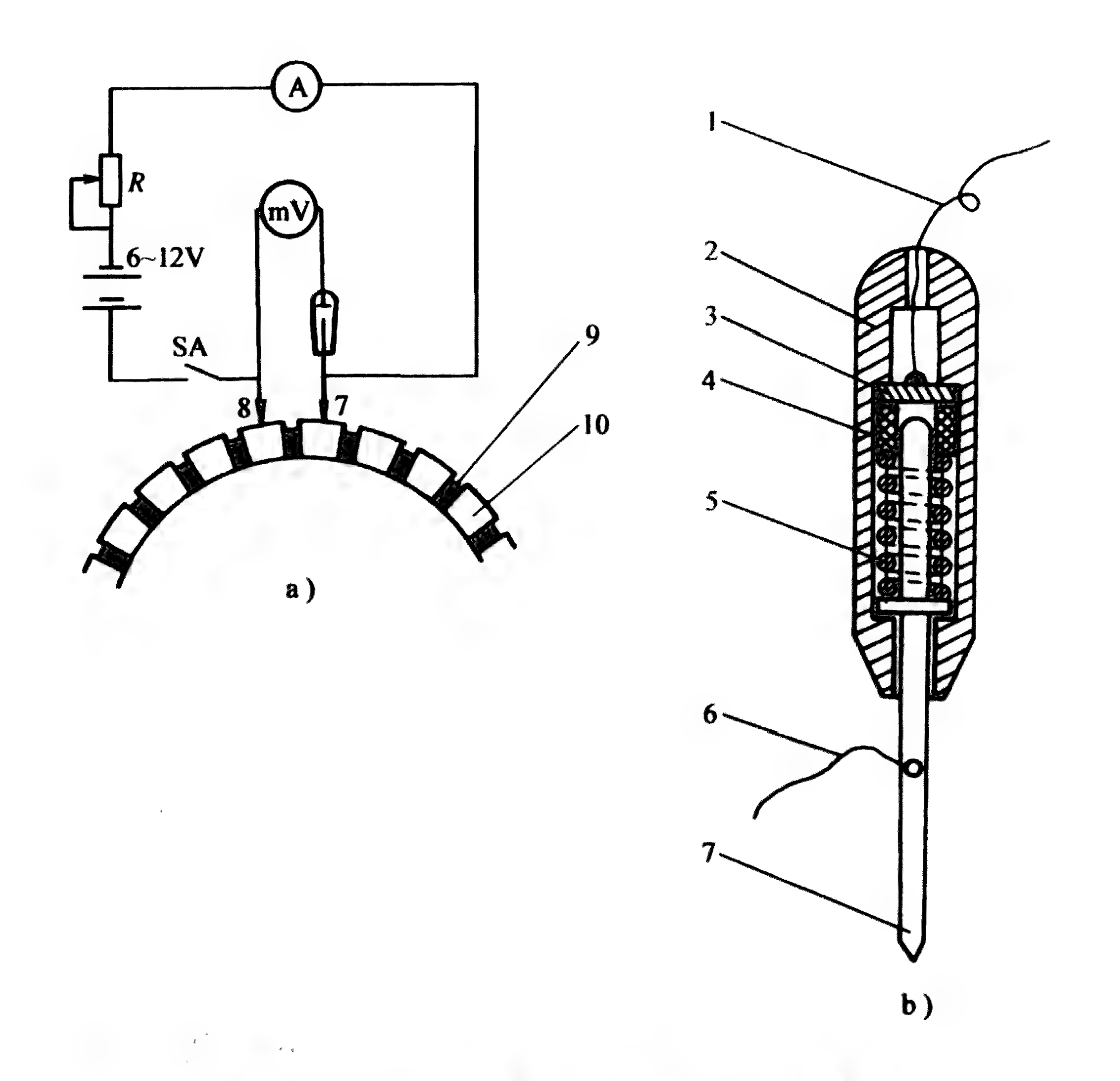


图 5-2 分流电压降法测量片间电阻线路

a）接线原理 b）检测器结构

1—毫伏表引线 2—绝缘外壳 3—铜质电极 4—定位绝缘套 5—弹簧 6—检测电源线 7—检测针 8—检测极 9—换向器云母片 10—换向片

同一组的线圈中，指南针显示极性必须相同，如有变化则是反嵌或接错。线圈组极性检测与上相同，但以组为单位，显示的极性则要符合接线极性的规律，如有违反，必须改正。

（2）相绕组极性检测　相绕组极性从三相引出线进行检测。检测方法很多，这里仅介绍最常用且简单、可靠的干电池-万用表法。其判别步骤如下：

1）用万用表(欧姆挡)查出三相绕组引线，并分别标上 U、V、W 记号；

2）把 1～2 节干电池串联开关后接到 U 相两端，如图 5-3a

件。由于转子旋转时惯性力的作用，容易造成并头套歪斜相碰，为避免相间或片间短路，并头套焊接好后，可用尺寸合适的玻璃丝绝缘套管套住，如无合适的套管，也可用玻璃漆带半叠包扎一、二层后再用无碱玻璃丝带包扎一层。当并头套排列较密，如间隙小于6mm，则交流转子绕组可以全包，也可以只包不同相的相邻并头套。对直流电枢则宜每隔一个包一个，即间隔包扎。

2. 交流绕线式转子短路环及引出线包扎

短路环焊接前要修整圆滑，不得扭曲，焊好后将松香焊剂及浮锡清理干净，用玻璃丝漆带按半叠形式包扎2~3层，再用无碱玻璃丝布带半叠包扎一层即可。

3. 转子的绑扎

转子绕组在离心力作用下将会发生位移，甚至使线圈越出槽外造成严重损坏。所以转子绕组在修理之后，要将机械强度较弱的两个端部进行绑扎。对于容量较大或尺寸较长的转子，还需在铁心上进行二、三道的绑扎。通常采用的绑扎工艺有钢丝绑扎和无纬玻璃丝带绑扎两种。在老式电机产品中常用钢丝绑扎，其工艺复杂，焊接效果很难获得满意，在运行中会因涡流而发热，也容易造成散扎而引起严重故障。所以目前多被无纬带绑扎工艺所取代。

(1) 无纬带绑扎的特点

无纬玻璃丝带具有质地柔软、不导电、不发热，没有钢丝箍的附加损耗，比重小、散热好，不受潮、生霉影响以及绑扎工艺简单等优点；但其弹性模量和延伸率则比钢丝低，耐弧性能也较差，而且要在低温下贮存，且有效存期短等缺点。常用的无纬带及其性能见表4-21。

(2) 无纬带代换钢丝绑扎的匝数换算　如果将原用钢丝绑扎改为0.17×25mm的无纬带绑扎时，可由下式换算匝数

$$W_b = KW_g \quad (匝)$$

性的线圈组分别串联成两个支路，如图 4-33b 所示。这种接法在极对数 $p=$ 偶数时有应用，此外在变极绕组中也经常采用。但在某些分数绕组中不能满足上述条件，故适应性较差。

（四）单相调速电扇的接线

单相抽头调速电扇电动机绕组由主、辅、调三个单独分层布线的绕组构成。它有 L-2、T-1 等不同的接线型式。典型范例图 2-104～图 2-110 是电扇用调速电动机的布接线图。下面对其绕组的连接特点扼要说明：

单相抽头调速的主、辅绕组必须具有 90°相位差，而调速绕组通常游离于主、辅绕组之间，故又称中间绕组。例如 L-2 型调速时，高速挡的调速绕组是辅绕组电路的一部分，而转换到低速时，调速绕组虽仍与辅绕组同相，但电路上却转接到主绕组电路。因此，绕组连接时必须以常态(一般是以高速挡)为基准；也就是说调速绕组线圈极性在常态下与同相绕组保持一致。绕组接线次序则先接主绕组，再接辅绕组，最后才接调速绕组。

1. L-2 型 4/2-2/2-2/2 双速绕组接线

本例是单相 8 槽双速，调速原理参看图 2-86a。绕组呈双层布线，主绕组有 4 只“半槽”线圈；辅、调绕组各由 2 只“半槽”线圈组成，并同相安排。绕组简化接线如图 4-34 所示。

主绕组是显极布线，接线按常规(即相邻线圈极性相反)连接，电源进线为 U，出线 1 拟通过开关接到电源。辅绕组两只线圈对称布线，从 V 进入庶极连接，即两线圈极性相同，尾线 2 与调速绕组头端交连，此绕组也是对称安排，庶极连接，但其极性与辅绕相反，其尾线并入主绕组出线。此接线的绕组布线图见范例图 2-104。

2. L-1 型 4/2-4-4/2 三速绕组接线

本例是 16 槽电扇，调速原理参看图 2-85。主绕组与调速绕组同相。主绕组从 U 进线，4 只“半槽”线圈按常规连接成显极；调速绕组分为(1-4、9-12)和(5-8、13-16)两组对称安排，中间抽头，同组两线圈是同极性串联，但两组极性相反；辅绕组 4 只

根细导线代替一根截面积大的导线绕制线圈，也可增加并联支路数来解决。但采用并联支路必须满足下列条件：

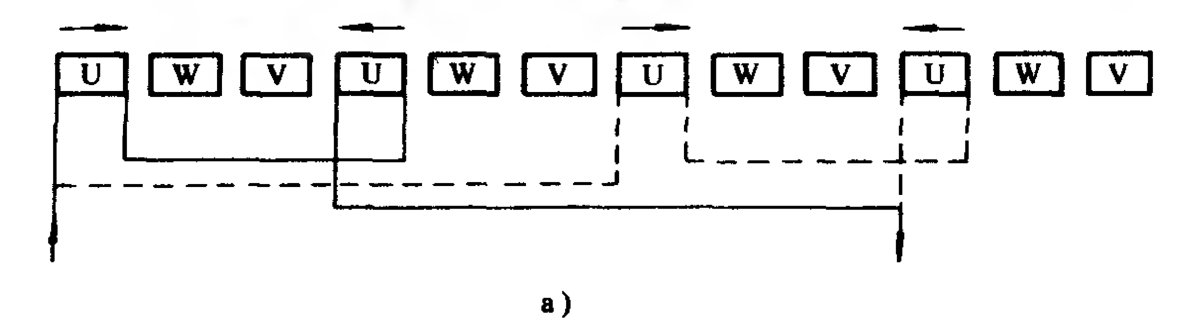
1）一相绕组中，每一并联支路的线圈组数必须平均分配，因此，它与电动机的极数有表 4-20 的关系。

表 4-20　电动机极数与可能构成的并联支路数

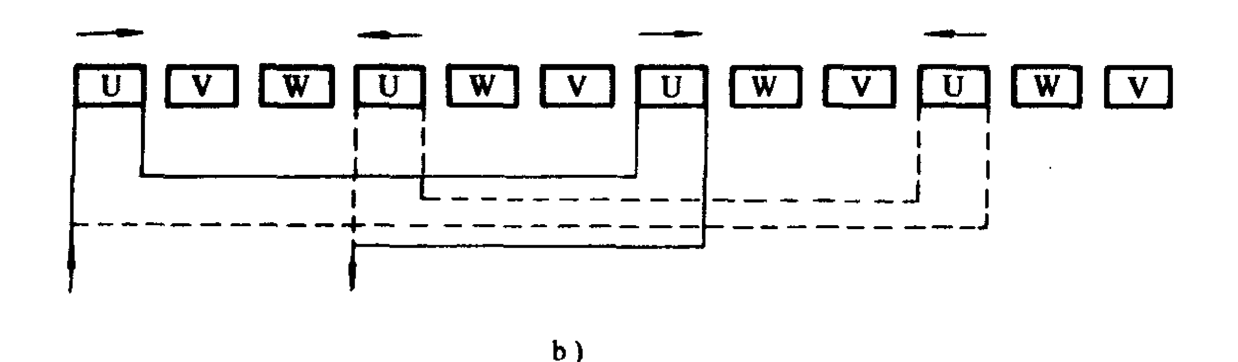
极　　数	2	4	6	8	10	12
并联支路数	1、2	1、2	1、2、3、6	1、2、4、8	1、2、5、10	1、2、3、4、6、12

2）每支路的线圈数和串联匝数必须相等。

多路并联绕组的连接有“短跳”和“长跳”两种形式。“短跳”是以同相相邻的线圈组分别串联成并联支路，如图 4-33a 所示。这种接法的连接线较短，而且适应性广，是并联绕组常用的接线方法。“长跳”则是在同相绕组中，组间的连接是间隔若干组串联成支路；对于最常用的二路并联绕组，是把每一相中同极



a)



b)

图 4-33　三相四极电动机(一相绕组)的二路并联接法示意图

a）短跳二路并联　b）长跳二路并联

7）根据相邻组间“尾接尾”、“头接头”连接，最后余下第四组的线头则是辅绕组的尾端，标记 V_2。

8）把主、辅绕组四根出线引接到出线盒接线板。

7. 罩极式绕组的接线

分布式罩极电动机的主绕组是采用正弦布线，故接线工艺同正弦绕组的主绕组。罩极线圈则有多种布线形式，它有四个罩极线圈全部串联后短接；也有每个罩极分别自行短接；还有每两个罩极线圈串联后分两组短接。另外，各罩极线圈的节距也因各电机性能要求而不相同，所以要根据拆线时的原始记录进行嵌接。

（二）交流电机庶极式绕组的连接

庶极式绕组在国外电动机中采用是比较普遍的，但国产电动机中目前只用于同心式绕组等为数不多的小功率电动机，也有用于某些绕线式转子绕组中。在拆线时必须查清并记录才能正确接线，如果一旦误接则极数倍增，通电后因串联匝数不足而引起磁饱和，将使电机发热而烧毁。

庶极绕组的三相进线在 1、2、3 组；同相相邻组间连接的规律是“尾与头”相接。接线的操作次序如下。

1）设每一组线圈的沉边出线为头，浮边出线为尾。并将头线扳向外，尾线扳向内；

2）在出线口附近取某头线为 U 相的头，标记为 U_1，该组则为第一组，并逆时向编组号；

3）在 U 相的 1、4、7、10 等组（如四极只有 1、4 组）中，将前一组的尾与下一组的头连接，余下最后一组的尾线标记为 U_2；

4）在 W 相的 2、5、8、11 等组中，第二组的头是相头 W_1，其余顺次按尾接头的规律串联，余下尾线标记为 W_2；

5）同理取第三组头线为相头 V_1，各组依次顺接串联后得尾线标记为 V_2；

6）最后把六根引线接到出线盒接线板。

（三）多路并联绕组的连接

电动机额定电流较大时，为了满足嵌线工艺的要求，常用多

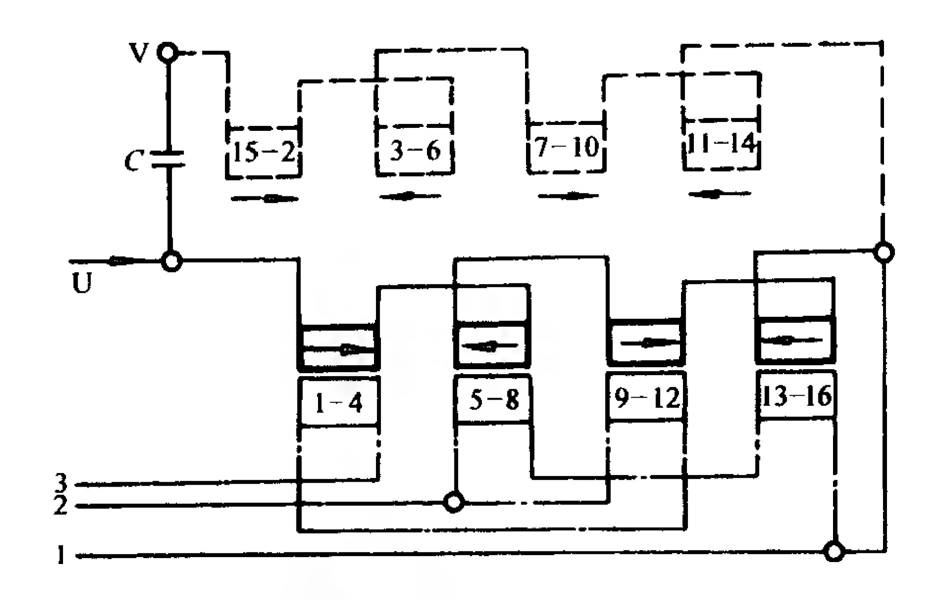


图 4-37　单相 16 槽四极 T-1W 型 4/2-4-4/2 布线三速绕组简化接线图

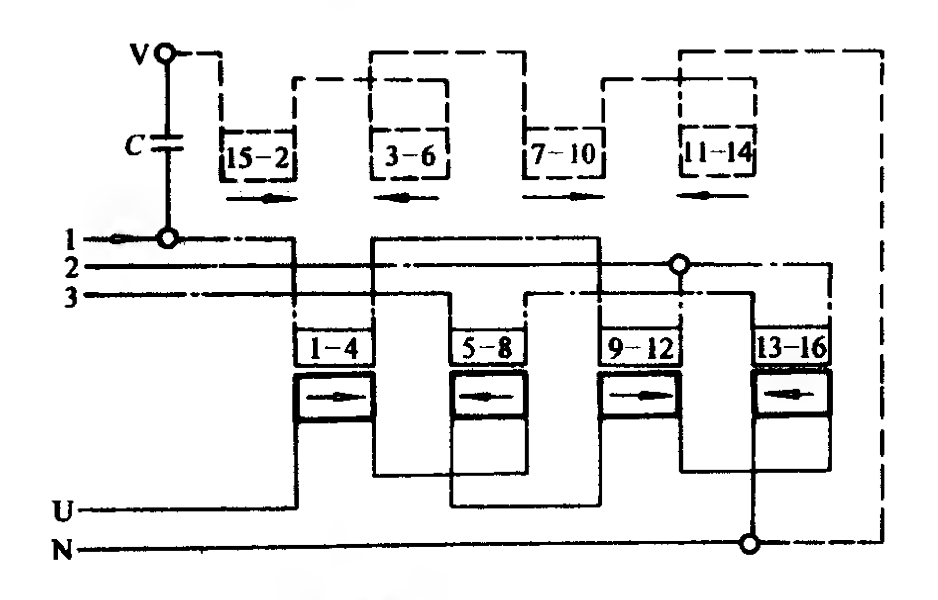


图 4-38　单相 16 槽四极 Φ 型 4/2-4-4/2 布线三速绕组简化接线图

（五）交直流串励电枢绕组的接线

交直流串励电枢的接线是，把绕组元件通过换向器逐个顺序串联起来，而最后一个线端则接入起始换向片，使其成为一个完整的串联闭合回路，如图 4-39 所示。其接线工艺如下：

1. 接线前的线头处理

绕组线圈是由高强度漆包绝缘铜线绕制的，为保证线头接入

组极性则要相反并引出抽头 2，如图 4-36 所示。此电动机绕组布线见范例图 2-107。

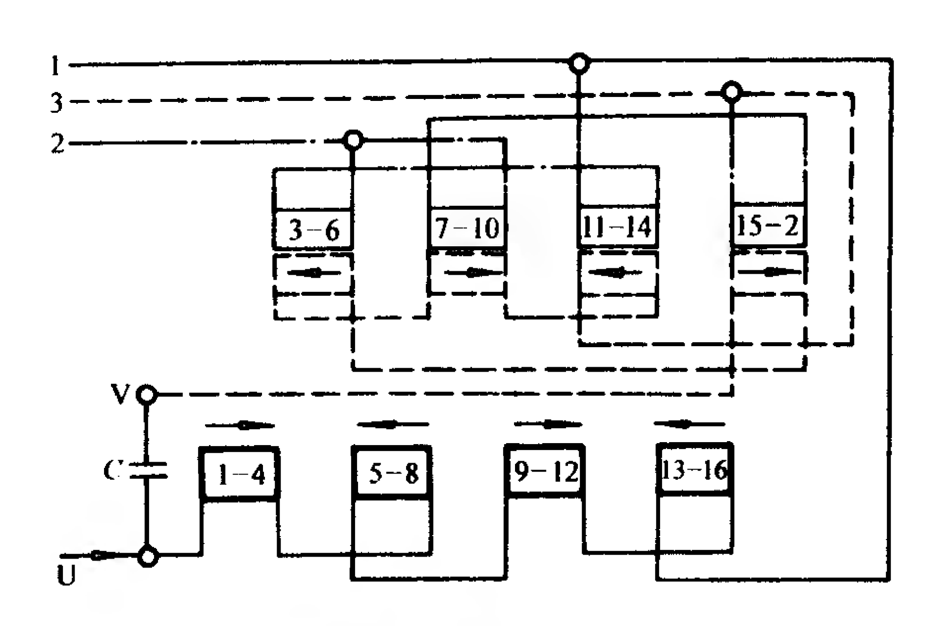


图 4-36　单相 16 槽四极 L-2 型 4-4/2-4/2 布线三速绕组简化接线图

4. T-1W 型 4/2-4-4/2 三速绕组接线

本例是 T 型接线，调速原理参看图 2-88。绕组采用 16 槽定子三速抽头。简化接线如图 4-37 所示，调速绕组与主绕组同相安排，主绕组 4 只“半槽”线圈显极布线，按常规连接；调速绕组分两组对称安排，极性相反，但同组两线圈则是同向串联，即极性相同；辅绕组为显极，4 只整槽线圈也按常规连接。本绕组布线见范例图 2-108。

5. Φ 型 4/2-4-4/2 三速绕组接线

本例是 16 槽三速，绕组接线有别于上述数例，调速原理参看图 2-90 所示。主绕组由 4 只“半槽”线圈按显极布接线；调速绕组与主绕组同相同槽，4 只“半槽”线圈分对称的两组，组内是同向串联，两组则是反极性接线，并在两组串联点抽出中速挡“2”；辅绕组 4 只整槽线圈是显极，按常规接线。三绕组的简化接线如图 4-38 所示。由图可见，电机的主、辅绕组仍用 L 型连接，但调速绕组要通过外电路的调速开关才能接入电路。此绕组的布线见范例图 2-109。

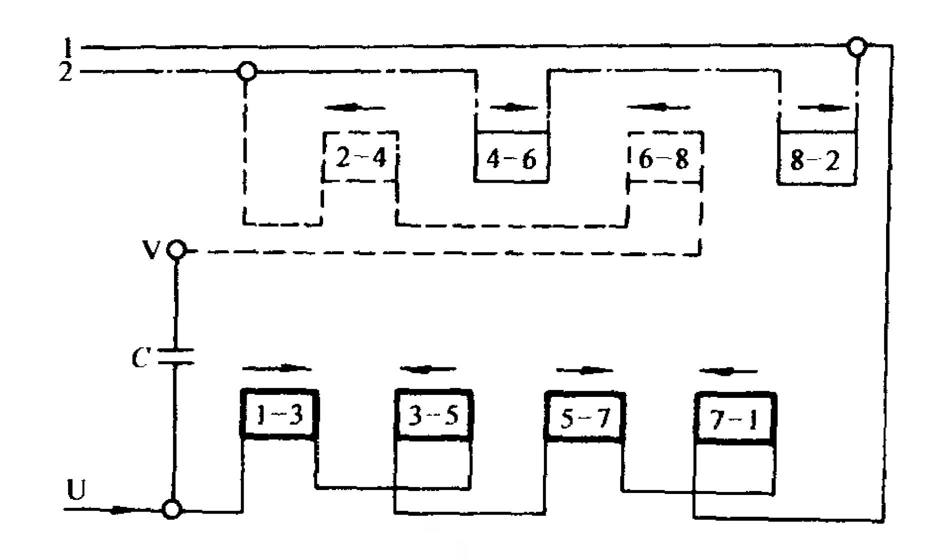


图 4-34　单相 8 槽四极 L-2 型 4/2-2/2-2/2 布线
双速绕组简化接线图

整槽线圈是显极分布，并按常规连接，其简化接线图如图 4-35 所示。电动机的绕组布线见范例图 2-105。

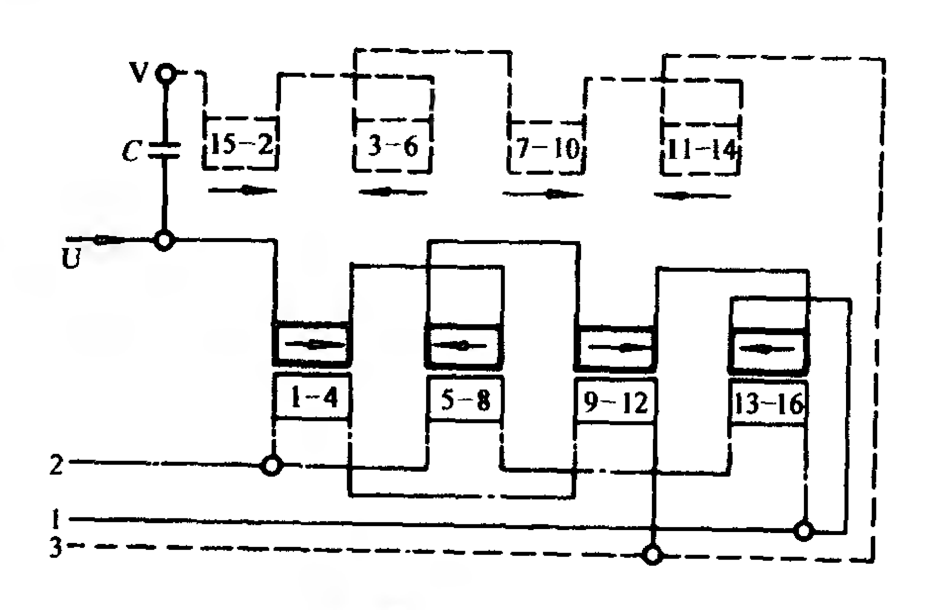


图 4-35　单相 16 槽四极 L-1 型 4/2-4-4/2 布线
三速绕组简化接线图

3. L-2 型 4-4/2-4/2 三速绕组接线

本例是 16 槽三速，调速绕组与辅绕组同相。电扇调速原理参看图 2-86b 所示。主绕组 4 只整槽线圈按常规接线；辅绕组和调速绕组均由 4 只“半槽”线圈组成并同槽安排，辅绕组也是按常规接线；调速绕组分两组对称安排，同组线圈极性相同，但两

（2）将引线理直，头(沉边)线板向外，尾(浮边)线扳向内；

（3）把1、3、5组的头(外)端分别标记为U_1、W_1、V_1；

（4）将U相的1、4、7…组按尾接尾、头接头规律依次连接，余下线端是相尾，标记U_2；

（5）同理将W相的3、6、9…组连接后得相尾W_2；

（6）再将V相连接得相尾V_2；

（7）将三相六根引线接入出线盒的接线板。

4. 同心式绕组的接线

同心式绕组与单层叠绕组接法基本相同，但每组线圈均是连绕，即每组分别从最大线圈和最小线圈各引出线一根，因此设大圈出线为头，小圈出线为尾，则其余接线与三相单层绕组相同。

但必须注意，这里所指的同心式绕组是显极式布线绕组；它也采用庶极式布线，但其接线规律不同，不能混淆。

5. 单双层混合式绕组的接线

单双层绕组均是显极式布线，其布线形式虽与单层同心式不同，但线圈结构都是同心式线圈。因此，每组引线也是由最大圈和最小圈引出，故其接线方法与同心式绕组相同。

6. 单相正弦绕组的接线

单相正弦绕组是采取分层嵌线，所以接线也分层进行。下面以典型范例2-98说明接线工艺。

1）设大线圈出线为头，小线圈出线为尾；

2）先将上层的辅绕组的线端全部塞到定子内腔；

3）理直下层主绕组线端，并将头线扳向外，尾线扳向内；

4）取一组头线为主绕组的头，标记U_1，一组的尾与(逆时向)相邻的二组尾线连接；二组的头与三组的头连接；三组的尾与四组的尾连接；余下四组的头线则是主绕组的尾U_2。

5）主绕组接线完成后，理直辅绕组线端，使头线向外，尾线向内；

6）取主绕组第一组逆时向相邻的一组线圈为辅绕组第一组，其头线为辅线组的头，标记为V_1；

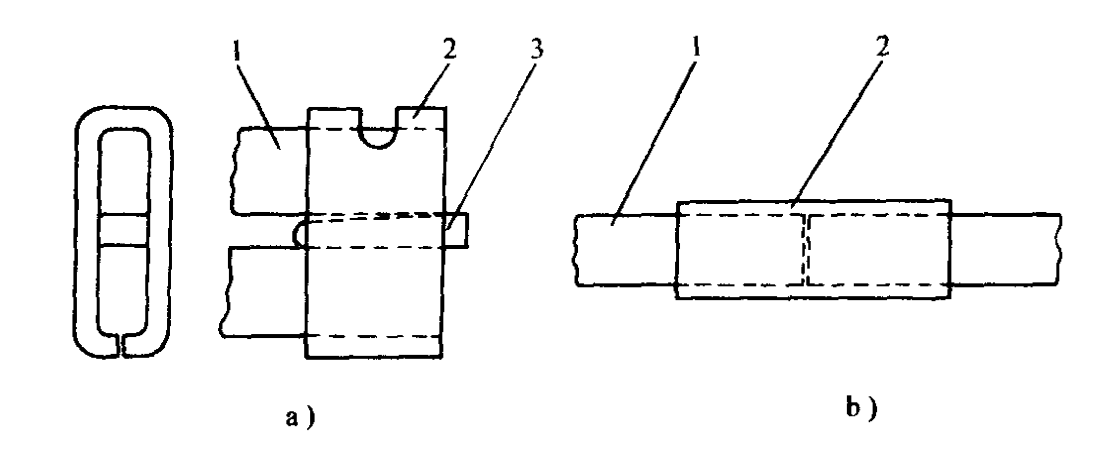


图 4-31 扁铜线连接方法

a）并接式并头套 b）对接式并头套

1—扁铜线 2—并头套 3—铜楔

接触。它是修理中小电机铜导线绕组常用的焊接方法。

（一）锡焊工具与焊料

1. 加热器

常用的加热工具是 25～500W 的电烙铁，一般是小线头用小功率烙铁，大功率用于焊接大直径或扁铜线的接头。如果用小烙铁焊大线头则热容量不足，施焊点达不到溶锡温度，焊锡不能渗入导线表层，故容易出现假焊，甚至不能焊接；若用大烙铁焊小线头也会因热容量过大，容易造成焊件过热而“烧死”，也无法挂锡，电烙铁也会因过热而烧坏。所以要合理选用电烙铁。一般直径在 ϕ0.6mm 以下的单根圆铜线，可选用 75W 以下电烙铁焊接；较粗的单根圆导线用 75～100W；如焊接较大截面的扁铜线或多根并接绞线，则要用 300～500W 再加一支 100W 电烙铁配合加热施焊。

此外，加热器也有用炭火烧热的火烙铁，因其使用不便，工效极低，已极少采用。还有的用低压短路加热的炭精加热器，宜在大的修理厂使用，不作介绍。

2. 焊锡与焊剂

焊锡是锡铅合金，它的基本要求是电阻率小，机械强度足够、熔点适中、流动性好和附着力强。常用的焊锡材料可参考表

线的连接。

2. 引出线的连接

(1) 引出线绞接法　电动机一般都用多股软导线或电缆线引出。若绕组是圆铜线时，可将绞接处刮干净，用圆铜线缠绕多股线绞接如图 4-30a。缠绕的匝间留一些间隙，以便焊锡。

(2) 扎线法　若绕组导线很粗或是扁铜线不便绞接时，则可采用如图 4-30b 所示的扎线连接。先将连接线头清理干净，扁铜线并排，多股电缆线芯对半分开，再用 $\phi0.5 \sim \phi1.0$mm 的裸铜线将其缠绕扎紧。

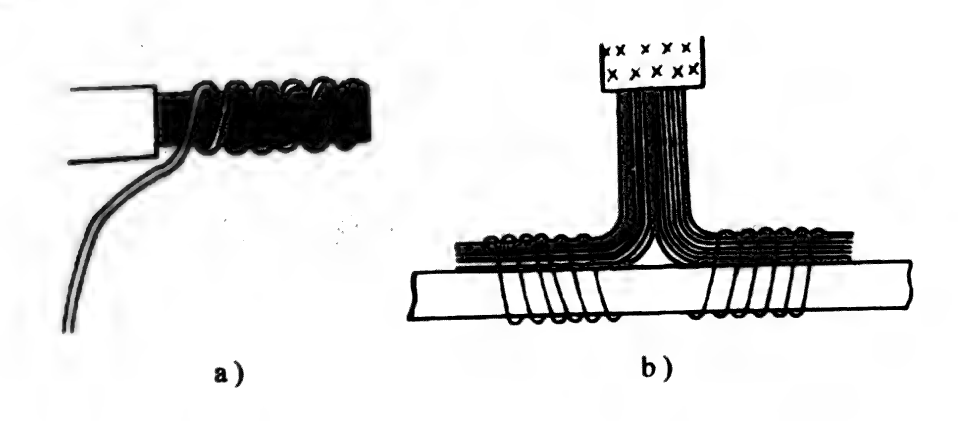


图 4-30　引出线的连接方法示意图

a) 绞接法　b) 扎接法

绞接和扎线的长度一般为 15～45mm，导线较粗时连接长度大些。此外，不管何种连接方式，最后都要用焊锡焊牢。

3. 扁铜线的连接

扁铜线与扁铜线的连接要采用并头套连接。即用厚 0.5～1.0mm 的铜皮制成长方形接线套管，俗称并头套如图 4-31 所示，然后将连接的扁铜线插入套内压紧后进行焊牢。

二、焊接操作工艺

电机线圈组之间或绕组与引出线之间都要进行连接，为了减少连接导线间的接触电阻，接线后必须进行焊接，以使其有良好的导电能力。通常采用的焊接方法是锡焊。

锡焊是将铜导线和焊锡同时加热，当焊锡溶化后渗到铜质表面隔绝外界空气引起氧化，从而使连接导体之间保持良好的导电

（十）变极绕组的嵌线

三相变极电动机除个别绕组外，基本都采用双层叠式绕组布线，其嵌线工艺与单速异步电动机的双叠绕组完全相同，嵌线程序可参照进行。但由于它的部分线圈在变极时需反向，故对不规则分布变极绕组，其每组圈数是不同的，所以嵌线时要严格按照绕组图嵌线。例如，典型范例中的图 3-15 是正规分布倍极比变极，它每组圈数全部是四联组，其嵌线完全与普通电机绕组相同，但图 3-20 是非倍极比变极，构成绕组有四联、双联和单联。因此，若从 4U1 号槽开始其嵌入线圈组依图次序则是 4、4、4、1、2、2、1、4、4、4、1、2、2、1。必须依此嵌线，不能混乱，否则接线会出现错误而返工。

第六节　绕组连接工艺

一、导线连接

1. 线圈(组)的接法

(1) 绞接法　绞接是电动机绕组线圈或线圈组间导线连接采用的方法。它是由两个线头同向并在一起拧绞连接的接法，如图 4-29a 所示。它适用于线圈单根或并绕根数小于 3 根时的连接。

(2) 对接法　对接是连接线头相对并在一起后，两线端分别向相反方向缠绕连结的接法，如图 4-29b 所示。它适用于多根导

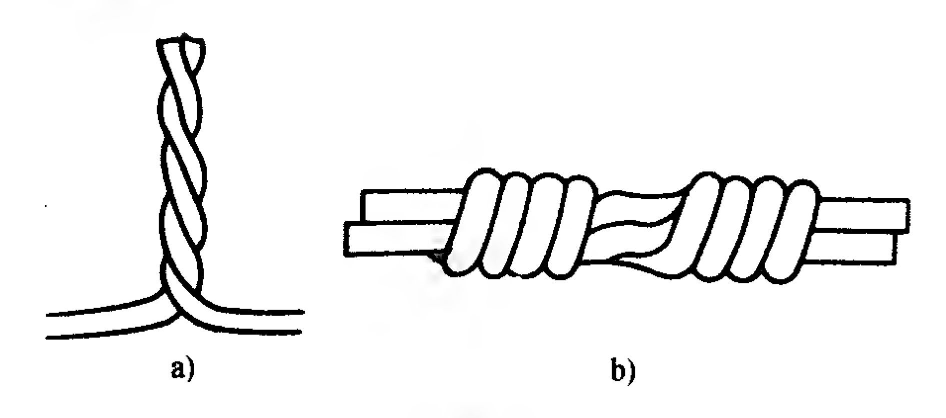


图 4-29　绕组线圈连接方法示意图
a）绞接法　b）对接法

层边出线)整理后扳到定子内；

4）逆时向编组后，将第 1、4、7、10 等组设为 U 相，做上记号；

5）将第 1 组的头(外)作为相头 U_1，其尾(内)端与第 4 组的尾(内)端相接；同理，其头(外)与第 7 组的头(外)连接。如此类推，把一相的所有线圈组连接完后，余下一线头则定为相尾，作记号 U_2；

6）将第 3、6、9、12 等组设为 W 相，将第 3 组的头(外)端为相头 W_1，依次尾(内)接尾(内)，头(外)接头(外)，最后得相尾 W_2；

7）同理，将第 5、8、11、2 组设为 V 相，得相头 V_1、相尾 V_2；

8）最后把三相的六根引线接到接线盒的接线板如图 4-32 所示。

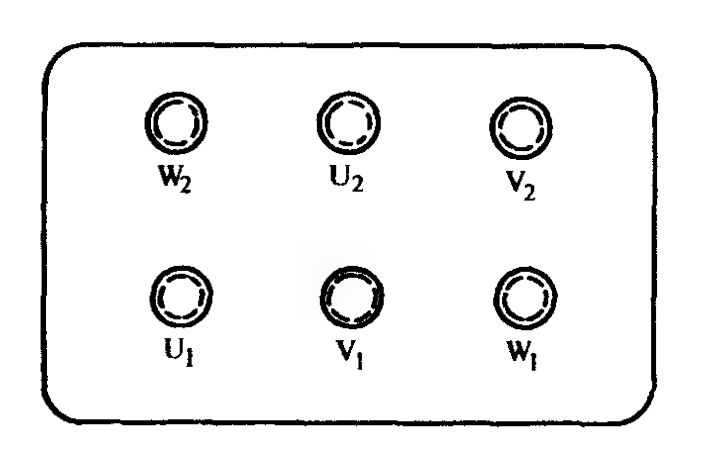


图 4-32　三相电动机接线端子排列标记

单相双层叠绕组的接线也按此工艺进行，但它只有主、副两相。

2. 三相双层分数(q = 分数)绕组的接线

双层分数绕组的接线与整数绕组基本相同。不同的是分数绕组每组线圈数不相等，大、小线圈组按一定规律分布，这在线圈组绕制和嵌线时已处理完毕，所以，只要嵌线时线圈分布正确，则不论每组线圈数多少均为一组，即每组引线也是两根，故其接线规律和操作工艺与整数绕组是一样的。

3. 三相单层绕组的接线工艺

适用于单层叠式、单层链式和单层交叉式绕组接线。

（1）设每线圈组的沉边引线为头，浮边引线为尾。将定子接线端向上放置于工作台；

焊锡膏中浸润；

3）待焊锡熔化后，洒入少许松香粉，当溶锡表面略呈金黄色时，将线头焊接处垂直插入溶锡中浸泡一会，取出看挂锡是否良好，如不理想，涂上焊锡膏后再在锡中浸泡，反复进行，直至挂锡满足后取出冷却；

4）把挂好锡的连接导线与引出线绞接后，重新浸入溶锡中或用电烙铁将其焊牢。

三、绕组接线

电动机线圈组一般是用连绕工艺，所以绕组接线的实质是一相线圈组间的连接。通常，串联接线是一相绕组的基本接线形式，所以均用一路串联绕组为接线基础进行叙述，最后再介绍并联接法的要点。然而，绕组型式虽多，但相邻线圈组间的极性关系只有两种，故其接法也只有两种。

但是，为使三相绕组获得对称平衡，三相进线要求互差 120°电角。所以，除变极电动机绕组外，规定三相绕组进线均从第一、三、五组引出。

（一）显极式绕组的连接

交流电机显极式绕组的判别前面已作介绍，它的应用包括所有型式的绕组，绕组连接的最大特点是同相相邻两线圈组的极性必须相反；因此，它的接线是“尾接尾”、“头接头”。下面以实例说明接线方法。

1. 三相双层绕组 q = 整数时的接线工艺

设每线圈组的下层边引线端为头，则下层边为尾（也可反设）。

1）将定子接线端向上放置在工作台上，如绕组端部高出定子则旋入端螺丝作支撑；

2）把 q 个相邻的线圈顺接串联成一组，即线圈 1 的尾与线圈 2 的头连接，其尾则与下一个线圈头端连接。最后每组线圈只有头、尾两根出线（如连绕工艺则可省去这一步）；

3）将每组的头（下层引线）理直后扳向定子外缘；再将尾（上

4-12。也可用纯锡30%～40%与纯铅60%～70%在加热容器中熔化后，倒入倾斜角铁使其凝固成条状备用。此外，如果焊接小电机绕组，则可采用松香焊锡丝的现成产品。

焊剂又称助焊剂，是防止焊接表面氧化和施焊过程，使氧化铜还原为铜，以利于锡渗入铜表面的助焊材料。一般中小电机铜绕组都采用松香酒精溶液；对于难以清理表面的大截面引出线头则用去氧化性能较好的焊锡膏进行助焊。但焊锡膏具有较强的腐蚀性，焊后要冲洗干净。

3. 熔锡罐

一般是用一截直径10～15cm、高约8～10cm的铁管，加焊底部而成的带手柄的罐形勺。主要用于熔锡及大截面引出线头的浸搪。

（二）锡焊工艺与操作

1. 烙铁焊工艺

1）把连接点的氧化层刮干净，绞接后涂上助焊剂；

2）将电烙铁烙头上的氧化层清除干净，插上电源加热时，用松香块涂抹烙头，防止加热过程产生氧化层，当加热到一定温度时将焊锡条触向烙头，使其表面挂锡；

3）将烙头垫在焊接线头下面紧贴线头，当焊点原涂上的松香液沸腾时，将焊锡条触向线头和烙头，并慢慢移动位置，使整个接头吸满焊锡时，烙头平移离开焊点；

4）如焊点有多余焊锡凸出，可用烙铁将其平搪去掉，对不足部位进行补锡。

2. 浸锡焊工艺

大截面的引出线头，由于股数多、导线细，很难清理干净，用电烙铁挂锡的效果不好，故用浸锡的办法使其挂锡。其操作工艺如下：

1）将焊锡放入熔锡罐进行加热（可用炭火、电炉或短路加热），使其熔化；

2）把线头绝缘皮剥开，尽量清理导线表面氧化层后，插入

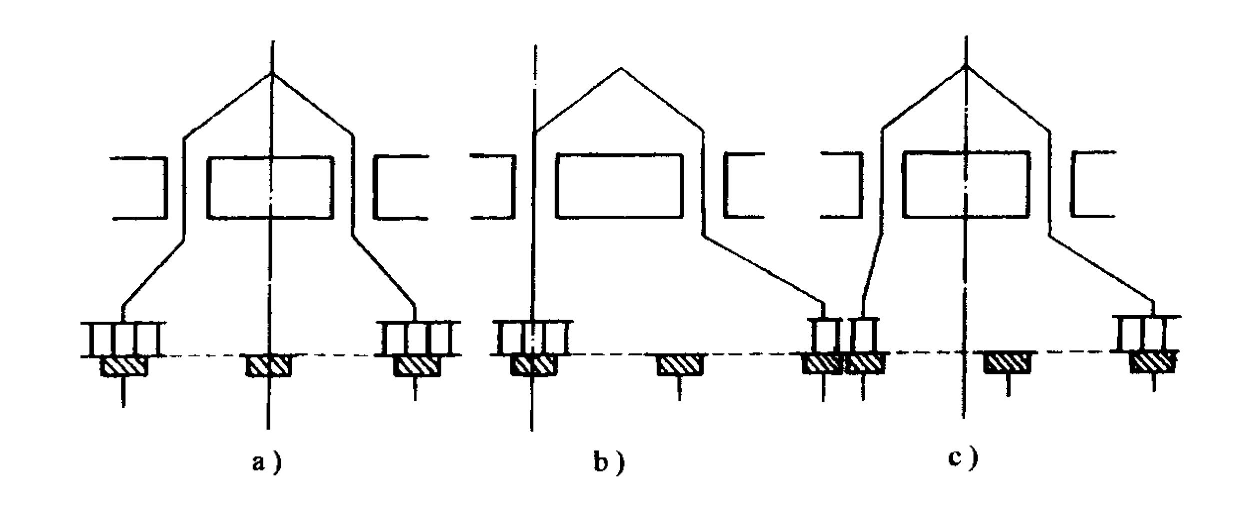


图 4-47　单波绕组的引接形式

a）对称引接　b）不对称引接　c）偏移引接

3）偏移引接换向片位置的确定　偏移引接形式见图 c，引接换向片位置的确定要与定子装配后进行，方法同单叠绕组。

3. 死波绕组电枢接线

死波绕组是单波绕组的特殊形式，由于 $n_2 = K/Z \neq$ 整数，线头接入换向器只有偏移接入一种形式。拆修时必须认真做好换向器接入线头和槽位的标记，重绕时按记号接线，其接线方法同单波绕组。

若无重绕接线标记时，可参考单叠绕组的偏移引接方法确定 1 号换向片。但第 1 槽位置应安排在具有死元件的线圈后面，即死元件在最后一槽的最后一元件。

4. 升高片和并头套的焊接工艺

电枢绕组线圈引接头的焊接质量直接影响电机运行的可靠性和使用寿命，因此，升高片的焊接是重绕修理的重要工序。目前，升高片的焊接方法有多种，但对于一般修理条件，最常用的是锡焊工艺。

(1) 焊接前准备

1）焊接工具　对小电枢一般可用 100～200W 电烙铁，容量较大时可用 300～500W 电烙铁。但要改成专用烙头，如加热平面时，需备有如图 4-48a 的平面尖头烙头；焊接升高片时则要「

① 按前法找出一个线圈两槽中心线并延长到换向器；

② 在定子主极上划出中心线和电刷中心线；

③ 将转子装入定子，并将转子线圈中心线与主极中心线重合；

④ 找出与起始槽方向电刷中心线所对准的换向片或云母片；

⑤ 再向起始槽以左方向移数 $c = u/2$ 片即是该线圈线头接入的 1 号换向片。

2. 单波绕组电枢接线

(1) 按重绕标记嵌接　以图 2-121 说明单波绕组接线。

1) 找出槽 13 下层边嵌入记号换向片的三个线头 71、72、73；

2) 用试灯接下层线头 71，找出槽 1 的上层线头 1 后嵌入换向片 1 或升高片；

3) 同理找出 72 的上层线头 2 和 71 的上层线头 3，并分别嵌入记号 2、3 的换向器或升高片；

4) 移过一槽，从槽 2 上层找出与槽 14 下层 74 相通的线头嵌入片 4。

如此类推，将所有上层线头嵌入换向器，只要上下层的槽位和换向器接入位置的记号标示没有错误，则接线就正确。

(2) 无重绕标记的嵌接　单波绕组也有三种引接形式，如图 4-47 所示。

1) 对称引接换向片位置的确定　电刷在主极中心线上如图 *a*，1 号换向片的确定方法如下：

① 参照单叠绕组方法找出线圈跨距两槽中心线，并延长到换向器；

② 再向起始槽方向数出 $(y_Z + u)/2$ 片便是线头 1 换入的 1 号换向片。

2) 不对称引接换向片位置的确定　不对称引接形式如图 b，它的电刷置于两主极之间的中心线上。1 号换向片位置的确定方法同单叠绕组。

（b）若槽节距与换向片节距不同是奇数时，槽中心线必须与云母片中心线重合。

否则不能得到对称引接。

② 不对称引接　如图 b 所示，电刷在相邻两主极之间的中线上。这时应满足下列之一条件：

（a）当每槽元件数为 u = 奇数时，槽中心线必须与换向片中心线重合。

（b）若 u = 偶数，则槽中心线应与云母片中心线重合。

③ 偏移引接　电刷偏移上述中心线的引接形式，如图 c 所示。

2）对称引接换向片的确定

① 取定某槽为 1 号，根据槽节距 y_Z 确定线圈另一有效边所在槽位，并在两槽之间的转子表面划出该线圈中心线；

② 将线圈中心线延长到换向器，这时若每槽元件数 u = 偶数，则延长线落在云母片；若 u = 奇数，则落在换向片中心线；

③ 偏移 1 号槽方向 $c = u/2$ 片取定为 1 号换向片，其余片号顺此起编。须注意：线圈中心线落在云母片时，从相邻换向片起数至第 c 片为 1 号换向片；若线圈中心线落在换向片时，则 c 不是整数，假设 $c = 2.5$，则该片为 0.5，邻片即是 1.5，数到 2.5 片时定为 1 号换向片。

3）不对称引接换向片的确定

① 按上法找出一个线圈两槽中心线并延长至换向器；

② 向 1 号槽方向偏移 $c = u\ (y_Z + 1)/2$ 片定为 1 号换向片。例如 $c = 9$ = 整数时，线圈中心线落在云母片上，这时数到第 9 片即定为 1 号换向片；若 $c = 10.5 \neq$ 整数时，线圈中心线落在换向片上，则该片为 0.5 数起(即相邻片为 1.5)，数到 10.5 片即定为 1 号换向片。

4）偏移引接换向片的确定

确定偏移引接的 1 号换向片要与定、转子装配来进行，其工艺如下：

隔相绝缘移位，一般多用于单层绕组；另一种是不与线圈直接捆在一起，而把引出线和连接线单独绑扎后，再与端部捆扎。

（三）绕组绑扎线的布置

定子绕组各相连接线绑扎后便形成一圈，通常可采用两种布置形式。

（1）端部绑扎　连接线全部置于定子绕组顶端部位用腊线进行绑扎成捆。这样就会使绕组端部加长，容易引起碰触端盖的接地故障，所以常用于极数较多而绕组端部较短，且端部轴向空间较大的电机。

（2）绕组端部外侧绑扎　它是把全部连接线放在绕组端部外侧绑扎，无疑这将减少绕组端部的轴向尺寸，但却增加了绕组端部的径向尺寸。所以它适用于绕组端部较长而定子铁轭较厚的二极电动机。

（四）线圈端部“包尖”

对于功率较大或二极电动机，由于线圈端部尺寸较长，为了避免电动机起动时受电磁力作用产生振动而损坏绝缘，因此在每个线圈端部用玻璃丝带包扎，即俗称为“包尖”处理。包尖的长度约为端部轴向长度的三分之一。包尖时，线圈的引出线可同时包扎于线圈端部弧线部位，但不得把引出线头包入转角鼻端。

（五）电机半成品检查与试验

定子绕组重绕工作基本完成后，在浸漆之前必须进行半成品试验，但试验前要把定子绕组进行100℃约6～12h的烘燥处理，然后取出待冷却后才进行各项检测和试验。这样可以使电机绕组重绕存在的缺陷能在试验中及时发现，赶在浸漆之前调整和纠正。半成品试验的项目和方法详见第五章叙述。

二、转子绕组整形与绑扎

转子绕组的整形、绑扎工艺适用于交流三相绕线式转子绕组和直流电枢绕组。

1. 并头套的包扎

三相交流绕线式转子和直流电枢硬绕组都采用并头套连接元

（七）变极绕组的接线

变极电动机绕组在变极时需改变部分线圈的极性，其接线较普通电机复杂。目前新系列变极电动机主要采用△/2 Y变极接法，而电梯电动机则多用Y/2 Y接法，绕组接线及变极可参考第三章详细介绍的内容。

第七节　绕组整形与绑扎

电机绕组嵌线接线完成之后，便可进行整形和绑扎。

一、定子绕组整形与绑扎

定子绕组的整形工作，主要包括三相、单相交流电动机定子的散嵌绕组。

（一）绕组端部整形

绕组嵌好接线后，在绑扎之前要将线圈端部排列整齐，同时仔细检查端部绝缘，如有移位、滑脱和损坏的要进行校正和修整。然后在线圈端部内侧在敲棒的衬垫下用手锤轻敲，使定子绕组两端部敲整成外缘呈抛物线张开的弧形喇叭口。

线圈绑扎后，要再次检查端部绝缘，对不到位的绝缘要进行补垫。端部相间或线圈间的绝缘纸要有效地分隔线圈，但又不得凸出过高，一般宜高出绕组2~3mm，对过高的绝缘要修剪整齐。喇叭口还要作进一步修圆，喇叭口的直径大小要适当；过小将影响通风散热效果，甚至与转子风扇相擦造成损坏；太大则会使绕组端部碰壳而引起接地故障。为了防止飞弧，一般低压电动机的绕组对地(机壳)应有7~10mm的隔电距离，如果不足，可用敲棒将线圈端部撬起。

（二）绕组引出线的绑扎

定子绕组连接线焊接之后，一般是用绝缘套管套入作为绝缘，如接线头较大则可用绝缘绸带包扎。为了防止外力拉脱，引出线的线头要进行绑扎。绑扎方法有两种：一是把引出线、连接线及其套管与线圈端部一起捆扎，这样绑扎较牢固，但容易造成

形扁头烙头如图 4-48b 所示。烙头加工好后要进行挂锡。

2）将线头和焊接面预先挂锡；

3）线头和焊接面(升高片或并头套)用扁嘴钳夹紧，使其配合尽量紧密，规格划一；

4）把升高片垂直于换向器排列整齐，片间距离整理均匀后楔入临时定位的软木楔；

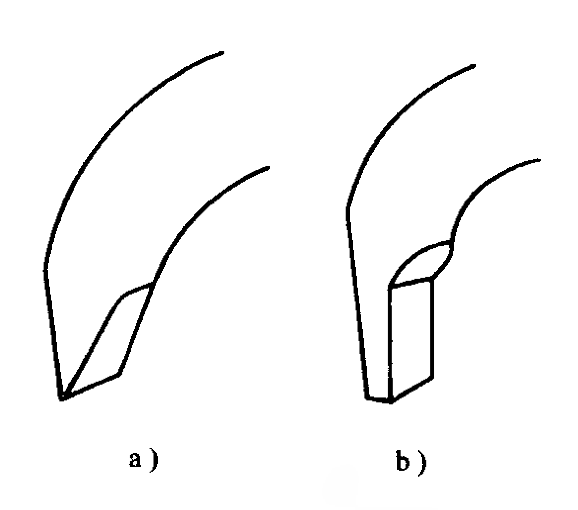


图 4-48　电烙铁头修整形状
a）平面尖头烙头　b）　形扁头烙头

5）将部分松香酒精溶液再加 20%酒精稀释后，用毛笔涂抹在焊接部位的缝隙；

6）待酒精挥发干后送进烘房预热到 80～100℃。

（2）焊接工艺

1）将转子取出放在高低滚架上，换向器端倾斜向下，以防焊锡流入线圈内；

2）用青壳纸将换向器圆周表面包起来，用白布带绑紧；

3）将松香酒精助焊溶剂(不稀释)再次涂在焊接部位；

4）300W 扁头烙铁加热到能使焊锡速溶时，在烙头上抹点松香，并加厚挂锡层；

5）将要焊接的升高片(或换向片)转到与轴心平面稍下一点，烙铁扁头横插到要焊的升高片(或并头套)下面加热；

6）如热容量不足，可另加一把 100W 普通电烙铁在焊接端面挂锡游动，当升高片烫热后从顶部和端面缝隙处插入焊锡，再加些松香粉加速其走锡；

7）当熔化的焊锡被吸入并填满升高片并头套的缝隙后，可将扁头烙铁移去，并趁热用棉布把粘在并头套外多余的锡抹掉；

8）全部焊接完成后，先检查外观，再用片间压降法检查其焊接质量。对短路点要排除，虚焊点则要重焊；

9）对伸出升高片端面的线头进行切除。

记嵌入换向片或其升高片，上层线头则根据线圈实用接线图进行嵌接。

1. 单叠绕组电枢接线

(1) 按重绕标记嵌接　单叠绕组电枢接线必须在拆线时画出每槽线圈实用接线图(见图 2-118)，及所作标记进行接线。假如图中槽 8 为下层线头，已接入换向片 2、3，则用试灯测片 3 和槽 1 的另一端，查出与 3 相通的线头(虚线)，将其接入相邻的片 2，再找出与 2 相通的另一线头接入相邻的片 1。如此类推，便可将全部上层线头嵌接入换向器。

(2) 无重绕标记的嵌接　重绕拆线必须做好标记，如引接线头没有标记，可用下面介绍的方法重新定位。

1) 确定引接形式　单叠绕组引接有三种形式，如图 4-46 所示。

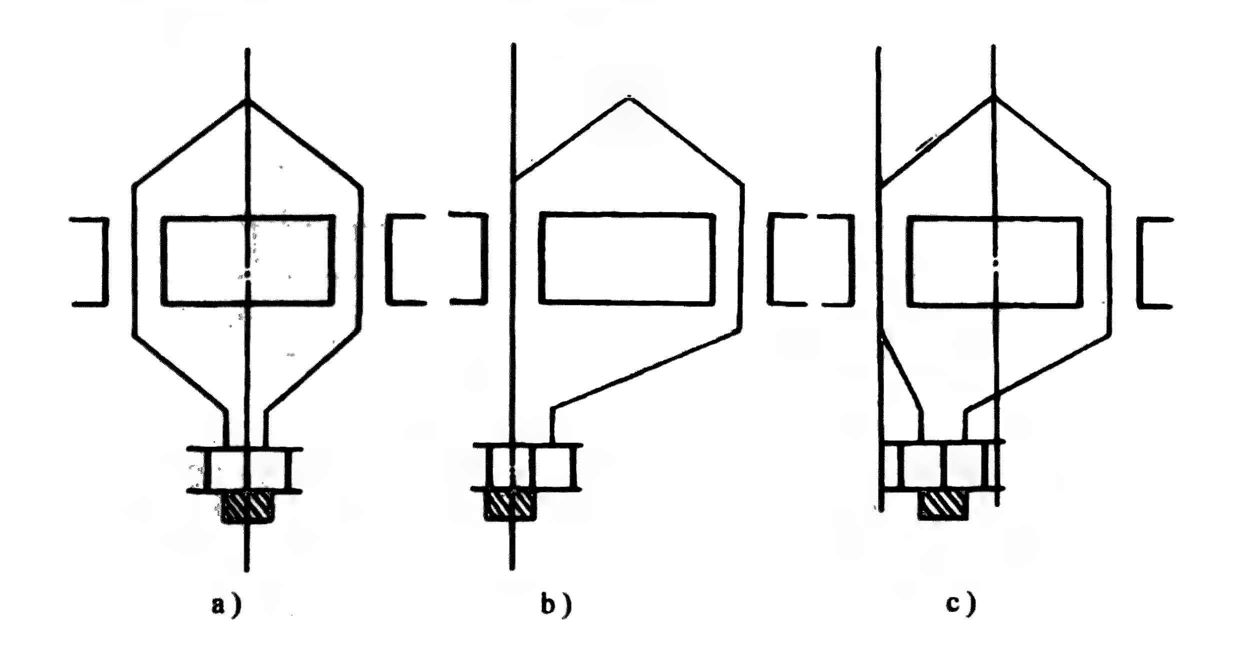


图 4-46　单叠绕组引接形式

a) 对称引接　b) 不对称引接　c) 偏移引接

① 对称引接　如图 a 所示，电刷置于主极中心线上，它必须满足下列条件之一才能成立：

(a) 槽节距与换向片节距均为奇数(或均为偶数)时，槽中心线必定与换向片中心线重合。

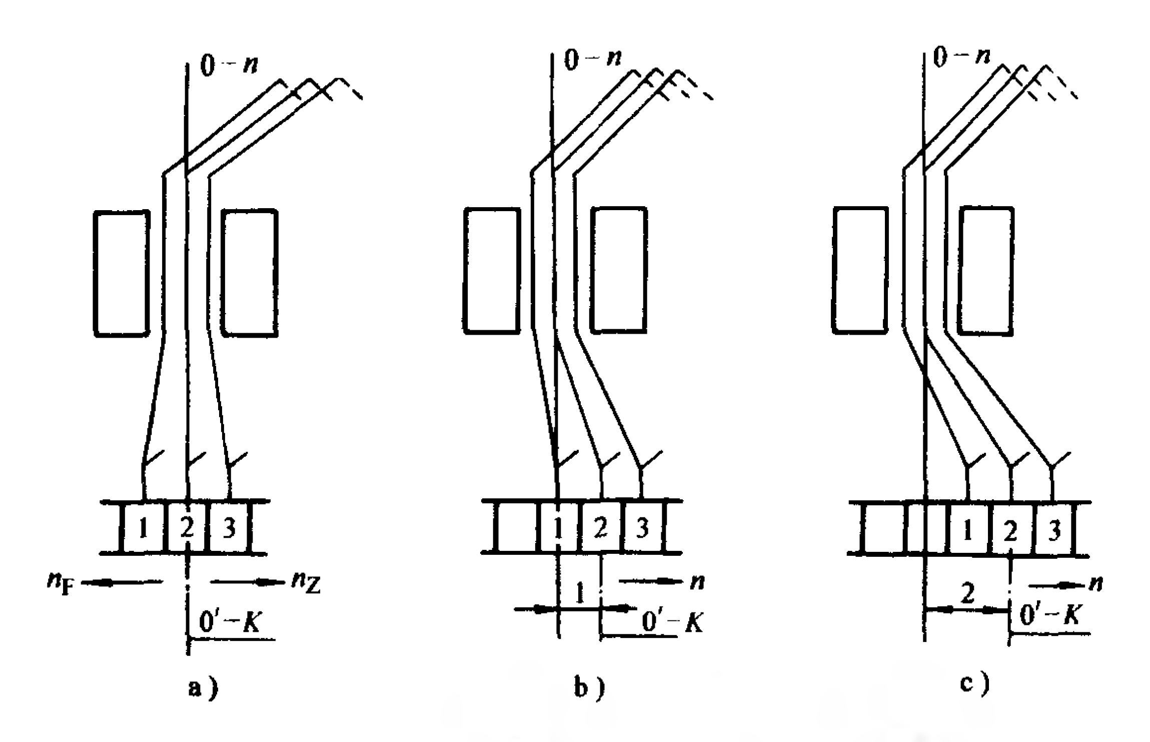


图 4-40　$n_2=K/Z=$奇数，槽中心线与换向片中心线重合(B 类)的"正对"接线位置

a)"正对"对直接法　b)"正对"顺向偏移 1 片接法

c)"正对"顺向偏移 2 片接法　(0—n)—槽中心线

(0′—K)—每槽接入换向片的中心线

正旋转方向)借偏半片接入换向器，如图 4-41所示。

② 对单转向电动机一般可沿旋转方向借偏接入换向器，借偏片数由下式估算：

$$n_K=(1\sim2.6)\frac{K}{36}(\text{片})$$

式中　K——电枢换向片数。

2）槽中心线与云母片中心线重合时

① 对正反转运行的电动机　当 $n_2=K/Z=$偶数时，可采用如图 4-42a 的对直接法。

当 $n_2=K/Z=$奇数时，则要向右借偏半片接入，如图 4-43 所示。

② 对单转向电动机　一般可沿电枢旋转方向借偏 n_K 片接入换向片。

(2) 电刷位置偏离两极之间几何中性线

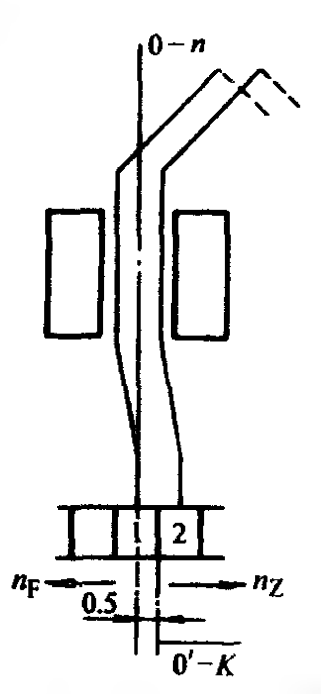


图 4-41　$n_2=K/Z=$偶数，槽中心线与换向片中心线重合时向右借偏半片接入

2）找出拆线时的记号槽编号为 1 号，如以每槽有三个元件为例，则三个元件接入换向片的编号为 1、2、3 号，其余顺序编号；

3）将槽 1 引出的最短线头嵌入片 1 线缝多余长度暂不剪断；

4）用万用表欧姆($R \times 100$)挡检测，将绞在一起的尾线 1′ 找出来。方法是用一表笔定在片 1 上，另一表笔分别检测其余五个线头，通路则是线尾 1′；

5）将槽 1 中长的线头 2（见图 4-27b)找出来与 1′扭成麻花，套上套管，充分贴紧底部绝缘(不得有些小悬空)，然后嵌入片 2 线缝；

6）再将槽 1 最长的线头 3 和 2′找出来扭成麻花，贴底伸到换向器嵌入片 3 线缝；

7）把槽 1 线圈最长的尾线 3′(在跨距槽的出线)，与槽 2 最短线头 1 扭成麻花，套上套管(隔一麻花套一套管)嵌入片 4；

8）如此类推进行连接，最后余下最后一槽的线尾 3′，与原嵌入片 1 的线头 1 扭成麻花再嵌回片 1 线缝。则全部绕组接线完成。

上面是以拆线时的记号进行接线的。如果无记号就不能正确接线了，这时必须重新确定线头焊接位置，才能按上面的步骤嵌接。

3. 无接线标记的线头接入位置的确定

绕组接入换向器的位置不正确时，将产生严重火花而不能使用。但由于结构和工作状态不同，其接线位置也是不同的。下面分别进行介绍。

(1) 电刷位于两极之间的对称轴线上的线头接入位置。

1）槽中心线与换向片中心线重合时

① 对正反转运行的电动机　当 $n_2 = K/Z =$ 奇数时，可采用对直(即槽中心线 0—n 与每槽线头接入换向片的中心线 0′—K 重合)接法，如图 4-40a 所示。

当 $n_2 = K/Z =$ 偶数时，无法采用对直接法，所以宜向右(即

换向器的焊接质量，在接线前应先将线头焊接处的绝缘漆皮清除干净。通常采用的方法有：

(1) 刮削除漆法　对于容量较大的低电压(如 36V 以下)电枢，由于导线较粗，可用刀或断锯片将绝缘导线的漆皮逐根刮除。刮时不要只刮两面，要沿圆周面仔细顺刮，不要刮伤导线。

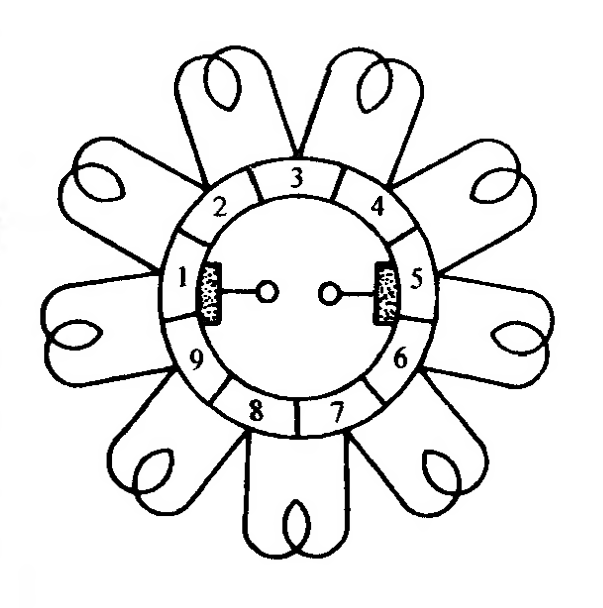


图 4-39　交直流串励电枢绕组接线示意图

(2) 火烧除漆法　对小容量的电枢，导线很细，刮削除漆容易伤及导线甚至导致断线，因此可用火烧去漆皮。

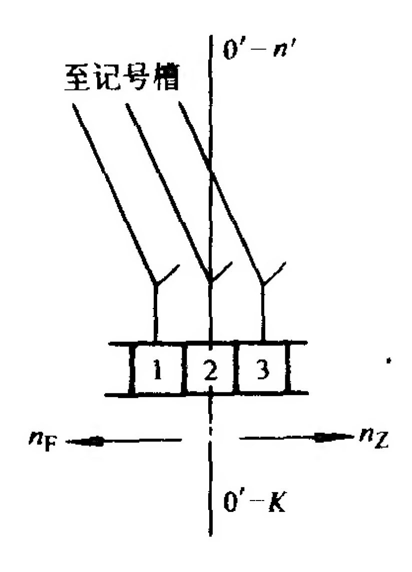
操作时将电枢竖起，将线头向外理直，比度好长度后用钳夹住导线不需脱皮部位，然后用酒精灯(也可用蜡烛)火烧导线，烧去漆皮，冷却后用布蘸酒精擦干净；如仍有少许余漆未除，不宜再烧，可用 600 号细砂纸轻擦清除。这种方法除漆皮的工效高，但操作掌握不好则容易烧伤或烧断导线。

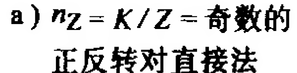
(3) 烙铁除漆法　选用 45 ~ 75W 电烙铁，烙头清理干净并挂好锡，用钳夹住导线不需脱皮部位，将欲脱漆的导线下面垫一块木块，在导线处加一粒松香，烧热后的烙头压住导线和松香加热，再顺导线拉烫几下漆皮便可脱落，并且导线上还搪上一层锡。这种方法工效稍低，但不伤导线且能保证焊接质量。

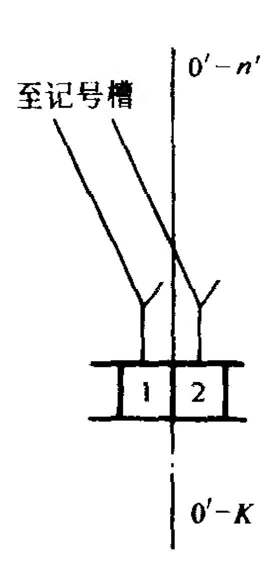
2. 线头接入换向片的操作

接线之前先用玻璃丝带或其他绝缘材料把线圈端部和换向器之间的间隙缠绕填满至换向片线缝底部，再外包一个玻璃丝漆布带的锥形套，使引线与绕组端部隔离开来。然后按下列程序操作接线。

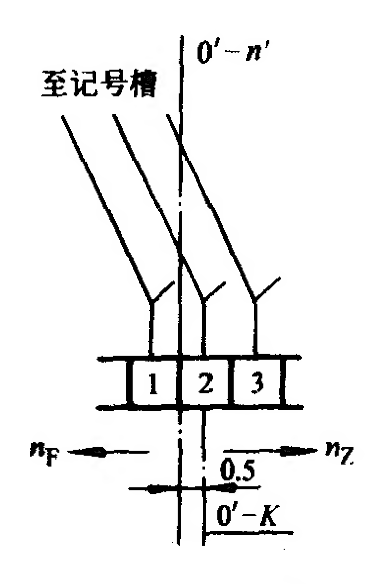
1) 全部线头脱漆上锡后按槽理直(但不要把原来绞在一起的尾线分开)，并翻向铁心外；



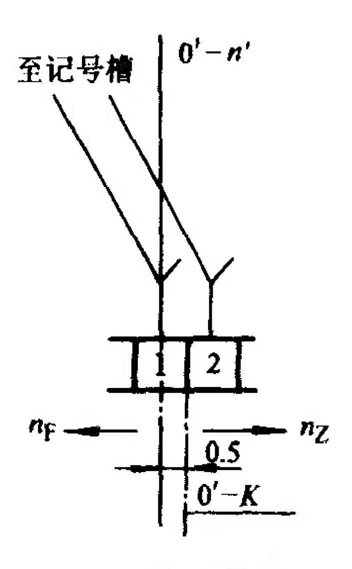

a）$n_Z=K/Z=$奇数的
正反转对直接法



b）$n_Z=K/Z=$偶数的
正反转对直接法



c）$n_Z=K/Z=$奇数的
正反转借偏半片接法



d）$n_Z=K/Z=$偶数的
正反转借偏半片接法

图 4-45　记号槽换算到换向器的槽中心线的正反转电枢的基准接法

（0′—n′）—从记号槽换算到换向器的槽中心基准线（见图 5-29）

（0′—K）—记号槽的线头接入换向片的中心线

6）检查并刮除换向器焊缝外端面、换向器表面及云母槽内的残锡及焊剂，然后再用酒精或汽油擦拭干净。

（六）直流电枢绕组的接线

直流电机电枢绕组通常在嵌线时已把下层线头按拆线时的标

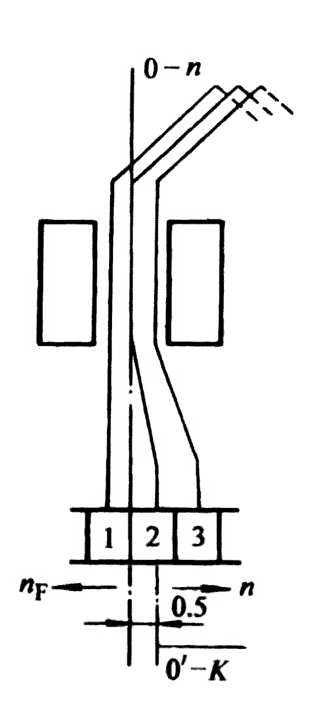


图 4-43　$n_2 = K/Z$ = 奇数，槽中心线与云母片中心线重合时向右借偏半片接入

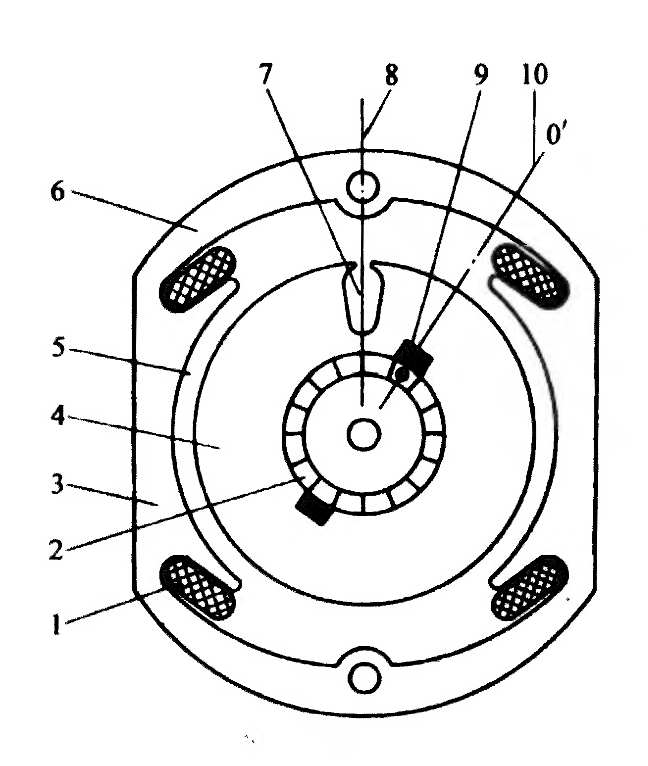


图 4-44　电刷偏离几何中心线时的线头接入位置的确定方法示意

1—磁场线圈　2—换向器　3—磁极　4—转子　5—气隙　6—定子铁轭　7—在磁极之间中轴线的记号槽　8—磁极之间的对称轴线　9—靠近记号槽的电刷　10—记号槽中心线的换算基准线 $0'-n'$

7）单转向电动机则以 $0'-n'$ 为基准，再沿旋转方向借偏 n_K 片。

4．换向片线头的焊接工艺

1）线头嵌好后，在线缝两侧用冲子将其轻轻冲压铆紧；

2）用青壳纸围绕换向器一圈包起来，把转子轴两端放在倾斜的高低架上，换向器端在低处，以防止焊锡流入内部。然后用松香酒精焊剂涂在线缝中；

3）将 75 ~ 100W 的电烙铁头端修扁成刃形，然后通电加热挂锡；

4）沾少许松香，把烙铁头刃部直贴线缝，使焊锡在缝内导线隙间均匀地渗满后，移去电烙铁；

5）依次逐个焊接，待全部焊完后，用刀将伸出焊缝端面的线头切断；

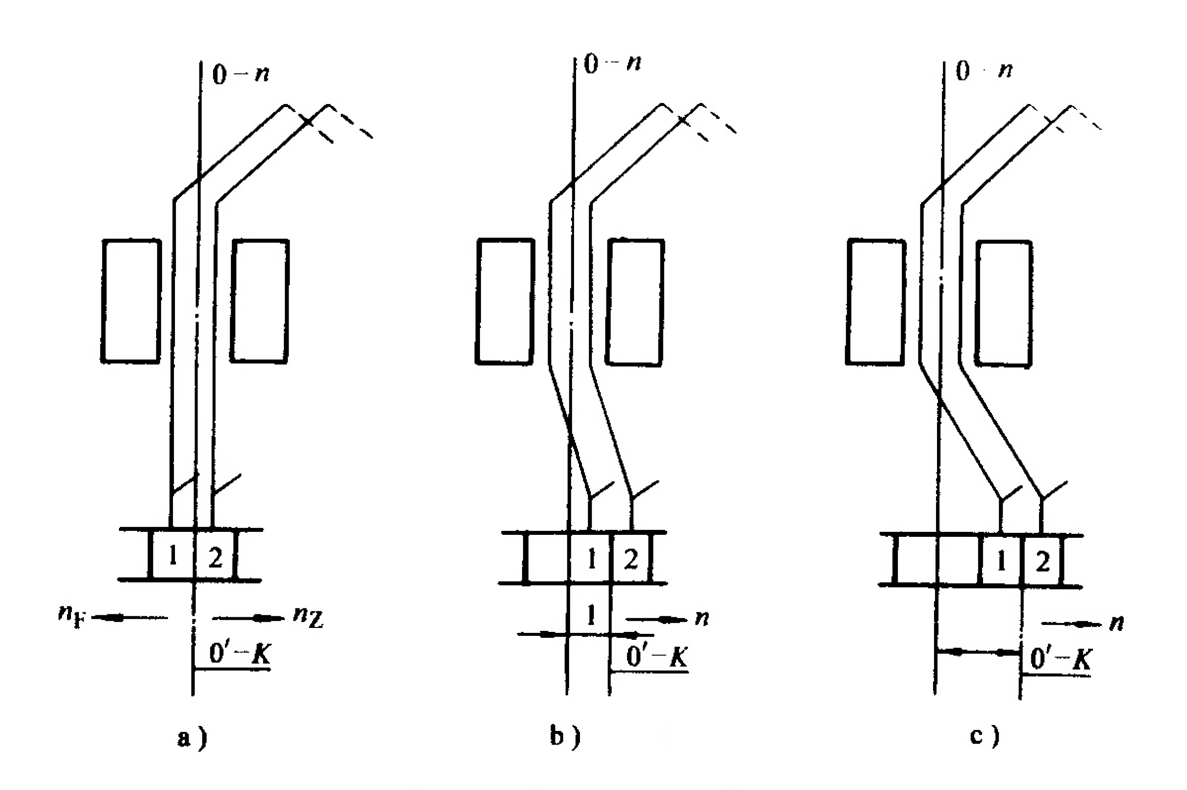


图 4-42　$n_2 = K/Z =$ 偶数，槽中心线与云母片中心线重合(A 类)的“偏对”接线位置
a)“偏对”的对直接法　b)“偏对”顺向偏移 1 片接法
c)“偏对”顺向偏移 2 片接法　(0—n)—槽中心线
(0′—K)—每槽线头接入换向片的中心线

的线头接入位置　若电刷位置明显偏离磁极对称轴线时，先要确定槽中心线的换算基准线 0′—n′再进行借偏。其方法如下：

1）将电刷架固定螺丝松开，旋调到中间位置(如系固定架则不作调旋)再固定好；

2）在定子铁心两磁极之间画出对称中轴线，并在磁极端面做标记；

3）把转子装入定子铁心内；

4）选任一槽做上记号后旋至磁极对称轴线位置，如图 4-44 所示；

5）找出最靠近记号槽那只电刷，并通过电刷中心和轴心得出换算的槽中心基准线 0′—n′如图；

6）以 0′—n′线为基准，可逆电动机由图 4-45 选用相适应的情况接入换向器；